

Aus dem Departement für Nutztiere der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. med. vet. Dr. h. c. U. Braun)

**Dopplersonographische Untersuchungen an der V. subcutanea abdominis
und der V. musculophrenica des Rindes**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von
Eva Regina Forster
Tierärztin
von Winterthur ZH

genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. Dr. h. c. U. Braun, Referent
PD Dr. C. Schwarzwald, Korreferent

Zürich, 2011
Zentralstelle der Studentenschaft

Meinen lieben Eltern
Meiner lieben Schwester

Inhaltsverzeichnis:

1. ZUSAMMENFASSUNG	1
2. SUMMARY	4
3. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	6
4. LITERATURÜBERSICHT	8
4.1. Anatomische Grundlagen	8
4.1.1. Arterien des Euters	8
4.1.2. Venen des Euters	9
4.1.3. V. musculophrenica	11
4.2. Venöser Blutfluss	11
4.3. Physiologie des Euters und der Laktation	12
4.4. Mammärer Blutfluss und mamäre Blutflussmessungen	15
4.5. Mammärer Blutfluss und Körperseiten	18
4.6. Dopplersonographie	18
4.6.1. Dopplersonographie von Venen	18
4.6.2. Dopplersonographie in der Veterinärmedizin	19
4.6.3. Dopplersonographische Messungen an der Eutervene und der V. musculophrenica	19
5. MATERIAL UND METHODIK	22
5.1. Tiergruppen	22
5.1.1. Gruppe A: Untersuchungen bei 8 gesunden Kühen im Laktationsverlauf	22
5.1.2. Gruppe B: Untersuchungen bei gesunden Kühen mit unterschiedlicher Milchleistung	24
5.1.3. Gruppe C: Kranke Kühe und eine Kuh mit hoher Tagesmilch- leistung	25
5.2. Sonographische Untersuchungen	26
5.2.1. Ultraschallgerät und Ultraschallsonde	26
5.2.2. Vorbereitung der Kühe	27
5.2.3. Dopplersonographische Untersuchungen	27
5.3. Statistik	29
5.4. Zusammenarbeit mit anderen Abteilungen der Universität Zürich	30
5.5. Tierversuchsbewilligung	30

6. ERGEBNISSE	31
6.1. Untersuchungen bei 8 gesunden Kühen im Laktationsverlauf (Gruppe A)	31
6.1.1. Klinische Untersuchung und Körpergewicht	31
6.1.2. Vena subcutanea abdominis, kaudaler Messpunkt	31
6.1.3. V. subcutanea abdominis, kranialer Messpunkt	40
6.1.4. Vena musculophrenica	49
6.1.5. Vergleich der Blutflussparameter an den drei Messpunkten	58
6.1.6. Beziehungen zwischen den Messparametern und der Milchleistung	63
6.1.7. Beziehungen zwischen den Messparametern und dem Körpergewicht	63
6.2. Untersuchungen bei unterschiedlicher Tagesmilchleistung (Gruppe B)	64
6.2.1. Blutflussparameter	64
6.2.2. Vergleich der Blutflussparameter an den beiden Körperseiten der Gruppe B (Galt, 10 bzw. 20 Liter Tagesmilchleistung)	70
6.3. Untersuchungen bei kranken Kühen/Fallvorstellungen (Gruppe C)	73
6.3.1. Partiell trockengestelltes Euterviertel vorne rechts infolge Zitzenverletzung	73
6.3.2. Thrombophlebitis der linken Eutervene	74
6.3.3. Endokarditis	75
6.3.4. Perikarditis	76
6.3.5. Blutflussparameter bei einer Kuh mit einer Tagesmilchleistung von 40 Litern	77
7. DISKUSSION	79
7.1. Methodenbewertung	79
7.1.1. Schallkopf	79
7.1.2. Untersuchungsbedingungen	79
7.1.3. Beschallungswinkel	80
7.1.4. Berechnung des Flussvolumens	82
7.2. Blutflussparameter im Laktationsverlauf	83
7.2.1. Beurteilung der absoluten Werte der Blutflussparameter	83
7.2.2. Beurteilung der Blutflussparameter über den Laktationsverlauf	85
7.2.3. Beurteilung der Messpunkte an der V. subcutanea abdominis	88
7.2.4. Vergleichende Beurteilung der Blutflussparameter an der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica	89
7.3. Blutflussparameter in Abhängigkeit von der Milchleistung (Gruppe B)	89
7.4. Zusammenhang zwischen Blutfluss und Milchleistung	90
7.5. Beurteilung der Blutflussparameter der Körperseiten	91
7.6. Beurteilung der Befunde bei den kranken Kühen (Gruppe C)	91

7.6.1. Partiell trockengestelltes Euterviertel vorne rechts infolge Zitzenverletzung	92
7.6.2. Thrombophlebitis der linken Eutervene	92
7.6.3. Endokarditis	93
7.6.4. Perikarditis	93
7.6.5. Blutflussparameter bei einer Kuh mit einer Tagesmilchleistung von 40 Litern	94
7.6. Ausblick	95
 8. LITERATURVERZEICHNIS	 96
 9. DANKSAGUNG	 102
 10. LEBENSLAUF	 104

Abkürzungen

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Abb.	Abbildung
a. p.	ante partum
cm/s	Zentimeter pro Sekunde
D1	Distanz zwischen Hautoberfläche und Vene
D2	Venendurchmesser
FV	Flussvolumen
kg	Kilogramm
l/min	Liter pro Minute
MBF	Mammärer Blutfluss
mm	Millimeter
p. p.	post partum
V.	Vena
Vv.	Venae
Vd	Minimale (gemessene) Blutflussgeschwindigkeit (V min)
Vm	Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit (V average peak)
Vp	Maximale (gemessene) Blutflussgeschwindigkeit (V peak/max)

1. ZUSAMMENFASSUNG

Das Hauptziel dieser Arbeit war es, den Blutfluss an zwei Messpunkten (kaudal und kranial) der V. subcutanea abdominis, auch Eutervene genannt, und an einem Messpunkt der V. musculophrenica bei gesunden Kühen mit Hilfe der Dopplersonographie zu beschreiben und einen Zusammenhang zwischen Blutfluss und Milchleistung zu prüfen. An den genannten Venen wurden der Abstand der Hautoberfläche zur Vene, der Venendurchmesser, die maximale, die minimale und die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit und das Blutflussvolumen gemessen.

Die Fragestellung wurde bei 3 Gruppen von Kühen abgeklärt: In der ersten Gruppe (A) wurden an 8 Kühen Messungen vor der Kalbung bis zum Tag 300 nach der Kalbung durchgeführt. Die zweite Gruppe (B) bestand aus 3 mal 5 Kühen, welche galt waren oder 10 bzw. 20 Liter Milch pro Tag gaben. Im Weiteren wurden Untersuchungen bei Kühen mit potentiellen, den Blutfluss beeinflussenden Krankheiten durchgeführt (C).

Bei den Kühen der Gruppe A konnten in den Verlaufskurven für die Fließgeschwindigkeiten und für das Flussvolumen an der Eutervene Peaks am Tag 1 oder 2 nach der Kalbung beobachtet werden. Die durchschnittliche maximale Flussgeschwindigkeit am kaudalen Messpunkt betrug 27.68 ± 12.4 cm/s ($\bar{x} \pm s$) und am kranialen Messpunkt 30.03 ± 0.7 cm/s. Das Flussvolumen betrug am kaudalen Messpunkt 2.88 ± 0.1 l/min und am kranialen Messpunkt 2.75 ± 0.1 l/min. Die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene und die Messwerte für die Venendurchmesser an den drei Messpunkten unterschieden sich signifikant voneinander ($P < 0.05$). Für die Fließgeschwindigkeiten und das Flussvolumen wurden statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Eutervene und der V. musculophrenica beobachtet ($P < 0.05$). Zwischen dem kaudalen und dem kranialen Messpunkt an der Eutervene unterschieden sich diese Parameter nicht signifikant ($P < 0.05$).

Über den Untersuchungszeitraum konnten an der Eutervene Verläufe mit statistisch signifikanten Unterschieden für den Venendurchmesser (kaudaler Messpunkt $P = 0.053$, kranialer Messpunkt $P < 0.05$) und das Flussvolumen (kaudaler und kranialer Messpunkt $P < 0.05$) gemessen werden. Das Flussvolumen an der Eutervene und an der V. musculophrenica stieg ein bis zwei Tage vor der Kalbung steil an, um nach dem Peak am Tag 1 bzw. 2 nach der Kalbung wieder zu fallen.

Bei den Kühen der Gruppe B war bei den laktierenden Kühen die maximale Flussgeschwindigkeit sowohl am kaudalen Messpunkt der Eutervene mit 38.77 ± 6.8 cm/s (10 Liter Tagesmilchleistung) bzw. mit 39.49 ± 3.7 cm/s (20 Liter Tagesmilchleistung) als auch am kranialen Messpunkt der Eutervene mit 37.45 ± 4.6 cm/s (10 Liter Tagesmilchleistung) bzw. 46.74 ± 2.0 cm/s (20 Liter Tagesmilchleistung) statistisch signifikant höher als bei den Galkühen mit 14.04 ± 0.9 cm/s am kaudalen und 18.30 ± 1.1 cm/s am kranialen Messpunkt ($P < 0.05$). Das Flussvolumen der Kühe mit einer Tagesmilchleistung von 20 Litern war am kaudalen Messpunkt der Eutervene mit 3.09 ± 0.7 l/min und am kranialen Messpunkt mit 2.95 ± 0.6 l/min signifikant höher als das Flussvolumen der Galkühe mit 0.79 ± 0.1 l/min am kaudalen und 0.86 ± 0.1 l/min am kranialen Messpunkt ($P < 0.05$). An der V. musculophrenica war die durchschnittliche maximale Flussgeschwindigkeit mit 81.90 ± 16.3 cm/s (10 Liter Tagesmilchleistung) bzw. 85.15 ± 12.3 cm/s (20 Liter Tagesmilchleistung) statistisch signifikant höher als bei den Galkühen mit 30.59 ± 5.6 cm/s ($P < 0.05$). Die Milchleistung korrelierte bei allen untersuchten gesunden Kühen (Gruppe A und B) an allen Messpunkten mit keinem der erhobenen Parameter.

In der Arbeit konnte anhand von Regressionsanalysen und Verlaufskurven des Blutflusses nachgewiesen werden, dass die Milchleistung nicht direkt mit dem mammären Blutfluss korreliert. Es wird jedoch angenommen, dass ein Zusammenhang zwischen Milchleistung und mammärem Blutfluss besteht. Ob die Milchleistung den mammären Blutfluss oder umgekehrt beeinflusst, bleibt offen. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Blutfluss durch das Euter multifak-

torieell reguliert wird. Normalwerte sollten für Galkühe und laktierende Kühe einzeln erhoben werden.

2. SUMMARY

The goals of this study were to characterise blood flow at two sites (caudal and cranial) in the subcutaneous abdominal vein (‘milk vein’) and at one site in the musculophrenic vein of healthy cows using Doppler sonography, and to examine the relationship between blood flow in the milk vein and milk yield. The distance between skin and vein, venous diameter, and maximum, minimum and average peak blood flow velocities and volumes were measured at all three sites.

Three groups of cows were used. Group A included eight cows that underwent daily examination from nine days prepartum to ten days postpartum, and then once a month for ten months. Group B included five dry cows, five cows with a daily milk production of 10 litres, and five cows with a daily production of 20 litres; these cows were examined once. Group C included cows with diseases with a potential impact on blood flow, including pericarditis, endocarditis, and thrombophlebitis of the milk vein.

In cows of group A, blood flow velocity and blood flow volume in the milk vein peaked one or two days after calving. The average peak flow velocities at the caudal and cranial measuring sites were 27.68 ± 12.4 cm/s and 30.03 ± 0.7 cm/s, and the respective flow volumes were 2.88 ± 0.1 L/min and 2.75 ± 0.1 L/min. The distances between skin surface and vein and the diameters of the veins differed significantly among the three measuring sites ($P < 0.05$). There were significant differences between the milk vein and the musculophrenic vein with respect to blood flow velocity and volume, respectively, but these variables did not differ significantly between the caudal and cranial milk vein ($P < 0.05$).

During the study period, we observed changes in the diameter (caudal, $P = 0.053$; cranial $P < 0.05$) and the blood flow volume (caudal and cranial, $P < 0.05$) of the milk vein. In the milk vein and musculophrenic vein, the blood flow volume increased sharply one or two days before calving and it peaked one and two days after calving. Subsequently it decreased again.

In group B, the lactating cows had significantly greater peak blood flow velocities than dry cows, both at the caudal (10 litres, 38.77 ± 6.8 cm/s; 20 litres, 39.49 ± 3.7 cm/s versus dry cows, 14.04 ± 0.9 cm/s) and cranial sites in the milk vein (10 litres, 37.45 ± 4.6 cm/s, 20 litres 46.74 ± 2.0 cm/s versus dry cows 18.30 ± 1.1 cm/s; $P < 0.05$). Likewise, in the cows with a daily production of 20 litres, the flow volume in the milk vein was greater than that in the dry cows both at the caudal (3.09 ± 0.7 l/min versus 0.79 ± 0.1 l/min) and cranial sites (2.95 ± 0.6 l/min versus 0.86 ± 0.1 l/min; $P < 0.05$). In the lactating cows, the average peak blood flow velocity in the musculophrenic vein was greater than in the dry cows (10 litres, 81.90 ± 16.3 cm/s, 20 litres 85.15 ± 12.3 cm/s versus dry cows 30.59 ± 5.6 cm/s; $P < 0.05$). In all of the healthy cows (group A and B) that were examined, milk yield did not correlate with any of the blood flow variables measured at the three sites.

Regression analyses and evaluation of the blood flow curve over time revealed no direct linear correlation between milk yield and blood flow in the milk vein, although some relationship has previously been proposed. It is not known whether milk yield affects mammary blood flow or vice versa, but it can be assumed that control of mammary blood flow is multifactorial. Based on the results of this study, reference values for mammary blood flow should be established in lactating and dry cows separately.

3. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Vor kurzem wurde aus dem Departement für Nutztiere der Vetsuisse-Fakultät Zürich eine Dissertation über dopplersonographische Untersuchungen an verschiedenen Arterien und Venen des Rindes publiziert (HÖGGER, 2006). Es zeigte sich dabei, dass sich die Eutervene (V. subcutanea abdominis) und die V. musculophrenica besonders gut für die Dopplersonographie eignen, da sie oberflächlich gelegen sind und die Tiere bei der Untersuchung im Gegensatz z.B. zur Untersuchung der Jugularvene keine oder kaum Abwehrbewegungen zeigen.

Als eine von drei Venen transportiert die Eutervene das Blut aus dem Euter zum Herzen. Das Euter der Kuh entwickelte sich wegen der immer höheren Milchleistungsanforderungen zum Hochleistungsorgan. Kühe werden vermehrt auf Spitzenmilchleistungen gezüchtet und ihr Stoffwechsel wird in der Früh-laktation an die Grenzen der Leistungsfähigkeit oder darüber hinaus gebracht (SALOMON et al., 2008). Um einen Liter Milch zu produzieren, müssen je nach Autor 300 bis 500 Liter (WENDT et al., 1994; SALOMON et al., 2008), 400 Liter (NICKEL et al., 2005), 500 Liter (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005) oder sogar bis zu 600 Liter Blut (BUDRAS und WÜNSCHE, 2002) das Euter durchfliessen. Mit dem Wissen, wie viel Blut für die Entstehung eines Liters Milch durch das Euter fließen müssen, stellte sich im Rahmen der oben genannten Untersuchungen von HÖGGER (2006) die Frage, ob die dopplersonographischen Befunde an der Eutervene durch die Milchleistung beeinflusst werden und ob die Milchleistung dementsprechend bei der Interpretation der Befunde zu berücksichtigen ist. Es wird vermutet, dass sich die Milchleistung auf die dopplersonographischen Befunde an der Eutervene wesentlich auswirkt, während im Gegensatz dazu auf die V. musculophrenica kein Einfluss zu erwarten ist, da durch die V. musculophrenica kein Blut aus dem Euter fliesst.

Das Ziel der vorliegenden Dissertation war es, diese Frage in zwei Ansätzen abzuklären. In einem ersten Ansatz sollten 8 Kühe über die gesamte Laktation untersucht werden. Das heisst, dass vom Tag 9 ante partum bis zum Tag 300 post par-

tum in regelmässigen Abständen dopplersonographische Untersuchungen an der Eutervene und der V. musculophrenica durchgeführt wurden. Im zweiten Ansatz wurden Kühe in Abhängigkeit von der Tagesmilchleistung untersucht. Dazu wurde die Dopplersonographie an den beiden Venen bei 5 nicht laktierenden Kühen und bei je 5 Kühen mit 10 bzw. 20 Litern Tagesmilchleistung durchgeführt. Schliesslich sollten die gewonnenen Erkenntnisse an Kühen mit verschiedenen Erkrankungen, welche den Blutfluss evtl. ein- oder beidseitig beeinflussen, angewendet werden, um abzuklären, ob und wie sich diese Erkrankungen auf die Blutflussparameter auswirken. Dafür wurden eine Kuh mit einem partiell trocken gestellten Euterviertel, eine Kuh mit einer Thrombophlebitis der linken Eutervene, eine Kuh mit Endokarditis und eine Kuh mit Perikarditis untersucht. Zusätzlich wurden Werte an den Venen einer Kuh mit einer überdurchschnittlichen Milchleistung von 40 Litern erhoben. Die gewonnenen Resultate der vorliegenden Arbeit sollen dazu beitragen, die in der Arbeit von HÖGGER (2006) für die Eutervene und die V. musculophrenica erhobenen Referenzbereiche, welche als Grundlage für den klinischen Einsatz der Dopplersonographie bei Kühen dienen, im Zusammenhang mit der Milchleistung interpretieren zu können.

4. LITERATURÜBERSICHT

4.1. Anatomische Grundlagen

4.1.1. Arterien des Euters

Die arterielle Blutversorgung des Euters erfolgt hauptsächlich aus der paarig angelegten A. pudenda externa und darüber hinaus durch einige kleinere Zuflüsse der A. pudenda interna (NICKEL et al., 2005). Die A. pudenda externa tritt nach Passage des Leistenspalts von dorsal an die Euterbasis heran und teilt sich dort über der Schenkelzitze in die kraniale und kaudale Euterarterie, A. mammaria cranialis und A. mammaria caudalis, auf. Häufig entspringt aus der letzteren vor dem Eintritt der A. pudenda externa ins Milchdrüsengewebe der R. basalis caudalis. Darüber hinaus sind zum arteriellen Gefäßverhalten verschiedene Variationen beschrieben. So kann sich die A. pudenda externa erst nach dem Eintritt in das Euter in die A. mammaria cranialis und caudalis aufteilen oder der Abgang des R. basalis caudalis kann erst aus der A. mammaria caudalis erfolgen (NICKEL et al., 2005).

Die A. mammaria cranialis zieht im Euterparenchym kranioventral und entlässt zuerst die Aa. laterales sinus caudales, deren Äste die lateralen Anteile des Parenchyms im Hinterviertel versorgen. Eine dieser kleinen Arterien versorgt als A. papillaris die Zitze des Hinterviertels. Im weiteren Verlauf gibt die A. mammaria cranialis mehrere Aa. laterales sinus craniales ab, von denen eine als A. papillaris in die Zitze des Vorderviertels eintritt. Für die seitlichen Bereiche des Vorderviertels sind die übrigen Aa. laterales sinus craniales verantwortlich. Die Vaskularisation des Gewebes an der Basis des Vorderviertels wird durch kleine Dorsaläste der A. mammaria cranialis sichergestellt.

Die hintere Euterarterie verläuft kaudoventral im Hinterviertel und entlässt den R. basalis caudalis, welcher die Blutversorgung von Anteilen des kaudodorsalen Euterabschnitts und der Euterlymphknoten gewährleistet. Die A. mammaria caudalis versorgt mit mehreren Aa. laterales sinus caudalis den ventrolateralen Abschnitt

des Hinterviertels. Eine dieser Arterien versorgt distal der Zitzenbasis als A. papillaris die Zitze des Hinterviertels.

Die Versorgung der medialen Anteile der Bauch- und Schenkelviertel mit arteriellem Blut erfolgt via A. mammaria media, welche meist aus dem Teilungswinkel der A. pudenda externa in die A. mammaria cranialis und die A. mammaria caudalis hervorgeht.

Um den enormen Bedarf an Nährstoffen für die Milchproduktion zu decken, muss ein kontinuierlicher Blutfluss zum Euter gewährleistet sein. Arterielle Querverbindungen zwischen den beiden Euterhälften bestehen kaudal hauptsächlich zwischen den beiden Rami basales caudales, welche eine oberflächliche Anastomose zwischen den Aa. pudendae externae darstellen und medial zwischen den Aa. mammariae mediales, welche durch das mediale Aufhängeband des Euters hindurch in Verbindung stehen (NICKEL et al., 2005).

4.1.2. Venen des Euters

Im Lehrbuch über die Anatomie der Haustiere (NICKEL et al., 2005) wird darauf hingewiesen, dass über den venösen Abfluss des Blutes vom Euter verschiedene Meinungen existieren. NICKEL et al. (2005) beschrieben den Verlauf grundsätzlich wie folgt: Das venöse Blut gelangt über mehrere muskelstarke, dickwandige Zitzenvenen, Vv. papillares, aus dem Zitzenschwellkörper, Plexus venosus papillaris, in den Fürstenberg'schen Venenring, Circulus venosus papillaris. Davon ausgehend verlaufen die Venen mit den gleichnamigen, oben aufgeführten Arterien bauchwärts und münden an der Euterbasis in die vordere und hintere Eutervene, V. mammaria cranialis et caudalis. Die V. mammaria cranialis wird auch V. epigastrica caudalis superficialis genannt und geht später in die V. epigastrica cranialis superficialis über. Durch Queranastomosen mit den Vv. mammariae craniales und caudales der Gegenseite verbunden, bildet sich hier der Circulus venosus mammae (NICKEL et al., 2005). Das venöse Blut kann darauf über drei verschiedene Venen aus dem Circulus venosus mammae vom Euter abfließen. Die V.

subcutanea abdominis, auch V. epigastrica cranialis superficialis, Eutervene oder Milchader genannt, führt das venöse Blut nach kranial ab. Die beim laktierenden Tier meist gut sichtbare, daumenstarke und ventrolateral sich am Abdomen entlang schlängelnde Eutervene tritt in der Regel zwischen dem Schaufelknorpel und dem achten Rippenknorpel, dem sogenannten Milchnäpfchen, durch die Bauchwand und mündet via V. epigastrica cranialis in die V. thoracica interna. Nach Einmünden der V. musculophrenica in die V. thoracica interna beim Ursprung der Pars costalis des Zwerchfells erreicht letztere via vordere Hohlvene, V. cava cranialis, den rechten Vorhof des Herzens (NICKEL et al., 2005). Die Weitlumigkeit der Eutervene und der Durchmesser des Milchnäpfchens werden auch heute noch als Hinweis auf eine gute Milchleistung gedeutet (NICKEL et al., 2005). Auf dem Weg durch den Inguinalspalt fließt das venöse Blut aus dem Circulus venosus mammae via V. pudenda externa in die V. pudenda epigastrica und weiter in die V. iliaca externa. Via Schenkelspaltvene, V. labialis dorsalis et mammaria, auch V. perinealis ventralis genannt, fließt das Blut kaudodorsal über den Sitzbeinausschnitt in die V. pudenda interna. Die V. pudenda interna und die V. pudenda externa gelangen schliesslich beide in die hintere Hohlvene, die V. cava caudalis (NICKEL et al., 2005). Es existieren unterschiedliche Meinungen, welche Vene den Hauptabfluss des venösen Blutes übernimmt. Nach SALOMON et al. (2005) ist die V. pudenda externa das Hauptabflussgefäss. Nach KJAERGAARD (1974) stellt jedoch die Eutervene die wichtigste Abflussroute des venösen mammären Blutes beim stehenden Tier dar. Teilweise wird auf eine Gewichtung der Abflussmenge pro Vene verzichtet (WENDT et al., 1994). Prozentuale Angaben über die Blutabflussmenge der drei Wege sind in der Literatur nicht vorhanden.

Als Variation im venösen, mammären Blutfluss soll sich neueren Untersuchungen zufolge das Ursprungsgebiet der V. labialis dorsalis et mammaria nicht allein auf die kaudalen Abschnitte des Euters beschränken, sondern auch das Blut aus der im Bereich der Milchdrüse gelegenen Haut der Oberschenkelinnenfläche und der Milchspiegelgegend mit einschliessen (NICKEL et al., 2005). NICKEL et al.

(2005) erwähnten andere Untersuchungen, wonach nur die V. pudenda externa das Blut aus dem Euter ableiten soll, während die Eutervene dem Bluttransport aus der ventralen Bauchwand dient. So sollen bei älteren weiblichen Tieren die Venenklappen in der Eutervene teilweise oder völlig insuffizient sein, sodass es beim stehenden Tier zu einem nabelwärts gerichteten Blutfluss des Euters, beim liegenden Tier jedoch zu einem euterwärts gerichteten Blutfluss kommen soll (NICKEL et al., 2005).

Allgemein gilt, dass ein kontinuierlicher und reichlicher Blutdurchfluss durch das Euter die unabdingbare Voraussetzung für die normal-physiologische Funktion der laktierenden Milchdrüse darstellt. Um Blutstauungen, wie sie zum Beispiel beim Liegen des Tieres durch Venenkompression leicht vorkommen können, sinnvoll entgegenwirken zu können, ist der Blutabfluss durch die Ausbildung verschiedener Abflusswege wie der V. subcutanea abdominis und der V. pudenda externa gesichert (NICKEL et al., 2005).

4.1.3. Vena musculophrenica

Die V. musculophrenica sammelt das Blut der kaudalen Vv. intercostales ventrales aus dem Rippenbereich. Auf Höhe des Zwerchfells vereint sie sich mit der V. epigastrica cranialis zur V. thoracica interna, welche auf Höhe der ersten Rippe in die V. cava cranialis einmündet (NICKEL et al., 2005).

Die Verzweigung der V. musculophrenica aus der V. epigastrica cranialis folgt in Richtung des Herzens kurz auf die Verzweigung der V. subcutanea abdominis aus der V. epigastrica cranialis.

4.2. Venöser Blutfluss

Hauptsächlich unterliegt der Blutstrom in Gefäßen drei physikalischen Gesetzen: dem Ohm'schen Gesetz für Strömungen, welches den Zusammenhang zwischen Druckgradient, Strömungswiderstand und Stromstärke kennzeichnet, dem Gesetz

von Hagen-Poiseuille, welches die Einflussgrößen auf den Gefässwiderstand, insbesondere den Gefässdurchmesser, definiert, und dem Kontinuitätsgesetz von Bernoulli, welches den Zusammenhang zwischen Stenosierungsgrad und Strömungsgeschwindigkeit in einer Stenose beschreibt (WIDDER und GÖRTLER, 2004).

Das Venensystem dient vor allem als Volumenreservoir für das Blut (PENZLIN, 2005). So sind ca. 70 % des Blutvolumens in den venösen Gefäßen gespeichert (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005). Neben dem Blutausschuss durch das Herz wird der venöse Rückfluss des Blutes zum Herzen durch folgende Mechanismen unterstützt und gefördert, nämlich die Pumpfunktion der Muskeln, den Saug-Druck-Pumpeneffekt der Atmung und den Ventilebenenmechanismus des Herzens (PENZLIN, 2005). Die Pumpfunktion der Muskeln befördert das Blut durch Kontraktion der Skelettmuskeln, vor allem aus den Extremitäten, in Richtung Herz. Die Venenklappen verhindern dabei ein Rückfließen des Blutes. Der Saug-Druck-Pumpeneffekt der Atmung presst das Blut während der Inspiration durch die abdominale Druckerhöhung wegen der Senkung des Zwerchfells zum Thorax und lässt es durch die intrathorakale Druckerniedrigung vermehrt in die thorakalen Venen und den rechten Vorhof zurückfließen (PENZLIN, 2005). Dies führt zu einer besseren enddiastolischen Füllung des rechten Ventrikels (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005), und es ergibt sich ein gesamthaft inspiratorisch erhöhter venöser Rückstrom zum Herzen (FÖHN, 1992). Der Ventilebenenmechanismus des Herzens übt in den herznahen Venen durch den Druckabfall im rechten Vorhof während der Systole eine Sogwirkung auf das venöse Blut aus (PENZLIN, 2005).

4.3. Physiologie des Euters und der Laktation

Das Euter als sekundäres Geschlechtsmerkmal ist eine modifizierte Schweißdrüse und kommt als solches nur bei den echten Säugetieren vor (BUDRAS und

WÜNSCHE, 2002). Laut NICKEL (2002) soll das gut ausgebildete Euter einer laktierenden Kuh je nach Milch- und Blutgehalt zwischen 5 bis 10 kg und mehr wiegen. Die kranialen Euterviertel, welche etwas schwächer als die kaudalen ausgebildet sind, werden als Bauch- oder Vorderviertel, die kaudalen als Schenkel- oder Hinterviertel bezeichnet (NICKEL et al., 2005). Die vier Drüsenkomplexe des Euters sind allesamt voneinander getrennt, sodass sich zum Beispiel Mastitiden meist auf ein Viertel beschränken (BUDRAS und WÜNSCHE, 2002).

Kurz vor der Geburt kommt es zu einer Vergrößerung des Euters, welche auf eine beginnende Milchsekretion und Füllung des Organs mit Milch deutet (NICKEL et al., 2005). Hormonelle Einflüsse, wie der Abfall des Progesteronspiegels und die gleichzeitige Zunahme der Prolaktin-, Östrogen-, Trijodthyronin- und Wachstumshormonkonzentration im Blutplasma, induzieren die Milchsekretion (Laktation) (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005). Laut BOSTEDT (2006) wird der Prozess der Anbildung des Eutergewebes und der Milchbildung hauptsächlich durch Östrogene induziert. Schon wenige Tage bis Stunden vor der Geburt kann die Laktation einsetzen, was als erste Milchtropfen auf der Zitzenspitze erkennbar wird (BUDRAS und WÜNSCHE, 2002).

Ab der Geburt des Kalbes wird die Kuh im Idealfall gemolken bzw. das Kalb durch die Kuh getränkt. Die Produktion der Milch im Euter findet jedoch nicht nur während des Melkens, sondern dauerhaft statt (LÖFFLER, 2002). Das Melken des Euters wird durch die Kontraktion der mit Milch gefüllten Drüsenalveolen ermöglicht. Diese wird durch das Anrühren beim Saugen oder durch den Melker einerseits via Oxytocin aus dem Hypophysenhinterlappen, andererseits via Prolaktin aus dem Hypophysenvorderlappen ausgelöst (LÖFFLER, 2002). Je nach Rasse und Laktationszeitpunkt geben Kühe 10 bis 60 und mehr Liter Milch pro Tag. Züchterisch auf hohe Milchleistung selektierte Kühe erbringen somit Milchleistungen von mehr als 10'000 kg pro Jahr (SALOMON et al., 2008). Um solch hohe Milchleistungen erbringen zu können, muss das Blutgefäßsystem des Euters bestens daran angepasst sein. Für die Produktion von einem Liter Milch sollen je

nach Autor 300 bis 500 Liter (WENDT et al., 1994; SALOMON et al., 2008), 400 Liter (NICKEL et al., 2005), 500 Liter (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005) oder sogar bis zu 600 Liter Blut (BUDRAS und WÜNSCHE, 2002) durch das Euter fließen. Mit einsetzender Milchproduktion kommt es somit im Euter zu einer Zunahme des Blutflusses und der Stoffwechselaktivität. Diese Blutflusserrhöhung wird durch eine Vasodilatation und eine Zunahme des Herzminutenvolumens um den Faktor 2 bis 3 im Vergleich zu einer nicht laktierenden, trockenstehenden Kuh erreicht (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005). Täglich wird das Euter 200 bis 250 Mal durch die gesamte Körperblutmenge durchströmt. Etwa 20 bis 30 % des Herzminutenvolumens entfallen bei hohen Milchleistungen auf dieses Organ (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005).

Um die Blutversorgung des Euters zu garantieren, wird ein kontinuierlicher Blutfluss durch das Euter vorausgesetzt, wofür unter anderem mehrere Blutabflusswege ausgebildet sind (siehe 4.1.2. Venen des Euters). Die Euterveinen haben ein etwa 50 Mal grösseres Fassungsvermögen als die Arterien, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes im Euter verringert wird. Somit werden die für die Milchbildung wichtigen Stofftransporte aus dem Blut in das Epithel der Drüsen ermöglicht (NICKEL et al., 2005).

Die über die gesamte Laktationsperiode geleistete Milchmenge einer Kuh wird als Laktationsleistung bezeichnet. Aus der erbrachten Milchleistung einer Kuh kann über die Laktationsperiode eine Kurve, die sogenannte Laktationskurve, gezeichnet werden. Diese erfährt nach der Geburt einen steilen Anstieg, erreicht etwa sechs bis acht Wochen post partum ein Maximum und fällt darauf langsam und kontinuierlich wieder ab (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005). Dieser Abfall beruht auf der Involution, das heisst auf dem physiologischen Verlust einzelner Drüsenzellen. Eine Laktation dauert bei einer Milchkuh ungefähr 300 Tage. Sie wird nicht nur durch die Involution des Euters, sondern vor allem durch das Trächtigkeitsstadium der laktierenden Kuh bestimmt (NICKEL et al., 2005). Üblicherweise wird die Kuh zwei Monate vor der Kalbung nicht mehr gemolken, so-

genannt trockengestellt, damit sich das Drüsengewebe radikal abbauen kann und sich neue, voll leistungsfähige Drüsenzellen anbauen können. Im Weiteren wird während der Trockenstehphase das für das Kalb wichtige Kolostrum, welches die Antikörper der Mutter enthält, gebildet. So ist das Euter auf die bevorstehende neue Laktation vorbereitet (SALOMON et al., 2008).

4.4. Mammärer Blutfluss und mamäre Blutflussmessungen

Die für die Milchproduktion benötigten hohen Mengen an Nährstoffen werden hämatogen zu den Drüsenzellen des Euters gebracht. Ein kontinuierlicher Blutfluss bildet die Voraussetzung für diesen Transport (NICKEL et al., 2005). Der Blutfluss der grossen, nicht kapillären Gefässe und der Blutfluss der Kapillaren des Euters, der für die Nährstoffversorgung des Euter verantwortlich ist, scheint unterschiedlichen Steuerungsmechanismen unterworfen zu sein (PROSSER et al., 1996). Obwohl sich der Blutfluss in den grossen Gefässen, gemessen mit der Antipyrin-Absorptionsmethode, ähnlich zum mamären Blutfluss (MBF) verhält, ist es der kapilläre Blutfluss, welcher die Nährstoffe zu den Drüsenzellen bringt (KJAERGAARD, 1968). Der MBF steigt ca. zwei bis drei Wochen vor der Kalbung an und sinkt weitere zwei bis drei Wochen nach der Kalbung wieder ab (KJAERGAARD, 1968). Die enge Beziehung zwischen MBF und Milchleistung ist jedoch nicht immer gegeben. Beispielsweise sinkt bei Kälte die Milchleistung bei gleich bleibendem Blutfluss (THOMPSON et al., 1977). Durch häufiges Melken steigt sie bei unverändertem Blutfluss an (MALTZ, 1984). So ist die Regulation des MBF nach wie vor mehrheitlich unbekannt. Einerseits übt die sympathische Innervation des Euters eine wichtige Funktion aus, andererseits wird die mamäre Vaskularisation wahrscheinlich durch eine Vielfalt von lokal produzierten, vasoaktiven Substanzen beeinflusst (PROSSER et al., 1996). Hormonelle Einflüsse spielen eine weitere Rolle. Es wurde gezeigt, dass sowohl endogen produ-

ziertes wie exogen zugeführtes Oxytocin den arteriellen MBF erhöhen (HOUVENAGHEL et al., 1972).

Das Euter zeigt zudem über die Laktation Adaptionsmechanismen. Beispielsweise steigt die Anzahl der Vesikel für die Transzytose in den Drüsenzellen mit der Laktationsdauer an (PROSSER et al., 1996). Im Gegensatz dazu benötigen die einzelnen Nährstoffe unterschiedlich schnelle arterielle Blutflüsse, um optimal und möglichst effektiv aufgenommen zu werden (PROSSER et al., 1996).

Zur Messung des Blutflusses existieren mehrere Methoden: Mit der Antipyrin-Absorptionsmethode wird bei Kühen und Ziegen der gesamte MBF gemessen. Dabei kann anhand des Konzentrationsverhältnisses von ins Euter injiziertem Antipyrin an der Eutervene und der V. jugularis der MBF durch die Eutervene berechnet werden (RASMUSSEN, 1963; RASMUSSEN, 1965). Die Thermodilutionsmethode misst den MBF anhand des Temperaturabfalls, welcher durch in die Eutervene injizierte kalte Salzlösung ausgelöst wird (LINZELL, 1966). Die N₂O-Methode beruht darauf, dass der MBF anhand unterschiedlicher Konzentrationen von N₂O in der Atemluft und in Blutproben aus der Eutervene berechnet wird. Mit einer elektromagnetischen Methode wird an der A. pudenda externa das Volumen des zum Euter transportierten Blutes quantifiziert. Dabei werden chirurgisch zwei Flowmeter direkt an der A. pudenda externa platziert. Die beschriebenen Messmethoden setzen jedoch starke Belastungen für das Tier (Atemmaske bei der N₂O-Methode) und chirurgische Eingriffe (Platzierung der Flowmeter bei der elektromagnetischen Methode und Setzen von Venenkathetern bei der Antipyrin-Absorptionsmethode und der Thermodilutionsmethode) voraus (REYNOLDS et al., 1968). Die letzten drei Methoden wurden bisher an Ziegen und nicht bei Kühen angewendet. Bei allen vier vorgestellten Messmethoden wurden die Resultate zudem nicht im Zusammenhang mit der Milchleistung betrachtet.

Eine weitere Methode zur Messung des MBFs stellt die Dopplersonographie dar. Sie wurde bei Ziegen mit Messungen an der Eutervene evaluiert (CHRISTENSEN et al., 1989). Die Werte waren vergleichbar mit Werten aus Messungen mit der

Antipyrin-Absorptionsmethode und der Thermodilutionsmethode. Der grosse Vorteil der Dopplersonographie liegt darin, dass es sich dabei um eine nichtinvasive Methode handelt und dass anhand der Messung der Venen-Querfläche und der durchschnittlichen Blutflussgeschwindigkeit das Flussvolumen einfach errechnet werden kann. Leider können Bewegungen des Tieres und Abdomenbewegungen zu Messfehlern führen (CHRISTENSEN et al., 1989). CHRISTENSEN et al. (1989) massen an der Eutervene von Ziegen in einer mit der vorliegenden Arbeit vergleichbaren Studie die Venendurchmesser und die durchschnittliche Blutflussgeschwindigkeit und errechneten daraus das Flussvolumen. Aus dem Venendurchmesser wurde die Venenquerschnittfläche berechnet, welche zwischen 0.38 und 11.0 cm² variierte. Die durchschnittliche Blutflussgeschwindigkeit lag zwischen 3.7 und 34.7 cm/s, wobei die Blutflussgeschwindigkeiten unabhängig von der Milchleistung waren. Die Blutflusswerte durch das Euter lagen zwischen 0.12 l/min (Ziege mit 1.2 Litern Tagesmilchleistung) und 1.03 l/min (hochlaktierende Ziege mit 3.6 Litern Tagesmilchleistung). Zusätzlich konnte bei laktierenden Ziegen mittels Dopplersonographie zwischen der Milchleistung und dem MBF an der Eutervene ein Zusammenhang festgestellt werden. So fielen die Blutflussgeschwindigkeit und die Milchleistung mit der Dauer der Laktation ab. Das Verhältnis von MBF und Milchleistung (ML), der sogenannte MBF:ML-Index, war jedoch bei Hochleistungsziegen kleiner als bei Ziegen mit geringerer Milchleistung. Das bedeutet, dass bei einer Hochleistungsmilchziege für einen Liter Milch verhältnismässig weniger Blut das Euter durchfliesst als bei einer Ziege mit geringerer Milchleistung. Als Gründe dafür wurden eine bessere Effizienz der Milchdrüsenzellen bei höher laktierenden Tieren bzw. eine Limitierung des MBFs genannt (NIELSEN et al., 1990). Ein Zusammenhang zwischen der Milchleistung und dem MBF konnte bei Kühen bisher bloss mittels Antipyrin-Absorptions-Methode in Messungen nach der Kalbung beschrieben werden. Bei den untersuchten Kühen wurde bei höherer Milchleistung auch ein höherer MBF gemessen (KJAERGAARD, 1974).

Bei der Kuh existieren bisher keine dopplersonographischen Untersuchungen an der Eutervene, welche den venösen Blutfluss und die Milchleistung einander gegenüberstellen. In der Dissertation von HÖGGER (2006) wurden zwar dopplersonographische Untersuchungen an der Eutervene durchgeführt. Diese wurden jedoch nicht in Zusammenhang mit der Milchleistung gebracht (siehe 4.6.3.).

4.5. Mammärer Blutfluss und Körperseiten

Da die Arterien und Venen des Euters paarig angelegt sind (NICKEL et al., 2005), stellt sich die Frage, ob von der Annahme ausgegangen werden darf, dass der Blutfluss auf beiden Körperseiten gleich ist. Bei früheren direkten oder indirekten Blutflussmessungen wurde gemäss Wissensstand der Autorin bis auf die Studie von CHRISTENSEN et al. (1989) auf Unterschiede bezüglich der Körperseiten nicht eingegangen. Bei Blutflussmessungen auf einer Seite wurde davon ausgegangen, dass der Blutfluss durch die Eutervene auf beiden Körperseiten gleich ist. CHRISTENSEN et al. (1989) massen bei Ziegen mittels Dopplersonographie den Blutfluss auf beiden Körperseiten und sahen, dass der Blutdurchfluss in der linken Eutervene konstant tiefer war als derjenige in der rechten. Dies entsprach der Milchleistung der einzelnen Euterhälfte, welche links durchschnittlich 33 % und rechts 67 % der gesamten Milchleistung betrug.

4.6. Dopplersonographie

Das Prinzip der Dopplersonographie wurde in der Dissertation von HÖGGER (2006) ausführlich beschrieben.

4.6.1. Dopplersonographie von Venen

In Venen mit kontinuierlichen Strömungen lassen sich die maximale, die minimale und die durchschnittliche maximale Flussgeschwindigkeit des Blutes anhand der

Dopplermethode bestimmen (DEPKEN, 1999). Mit Hilfe des Gefäßdurchmessers (d) und der mittleren Blutflussgeschwindigkeit im Gefäßquerschnitt, welche bei parablem Blutflussprofil der Hälfte der durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeit ($V_m/2$) entspricht, kann zusätzlich das mittlere Flussvolumen (FV) berechnet werden ($FV = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot V_m/2$). Neuere Ultraschallgeräte, wie das in der vorliegenden Arbeit verwendete, beinhalten häufig bereits eine Software, welche die Flussvolumina direkt errechnet (KUBALE und STIEGLER, 2002).

4.6.2. Farbdopplersonographie in der Veterinärmedizin

In der Dissertation von HÖGGER (2006) wurde umfassend auf die Farbdopplersonographie in der Veterinärmedizin eingegangen.

4.6.3. Dopplersonographische Messungen an der Eutervene und der V. musculophrenica

Von HÖGGER (2006) wurden dopplersonographische Messungen an der Eutervene und der V. musculophrenica beim Rind durchgeführt. In der Arbeit wurden bei 30 gesunden Braunviehkühen auf der linken Körperseite Normalwerte für die A. carotis communis, die A. uterina, die V. jugularis externa, die V. uterina, die V. musculophrenica und die V. subcutanea abdominis erhoben. Die Normalwerte für die Venen bezogen sich auf die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene, den Gefäßdurchmesser, die maximale, die minimale und die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit. Zusätzlich wurden für die Messungen an den Arterien weitere spezifische Parameter erhoben. Die Messungen wurden vor und nach Verabreichung von Xylazin durchgeführt, um Veränderungen im Blutfluss durch die Sedierung beobachten zu können (HÖGGER, 2006). Die Darstellung der Eutervene gelang bei 29 von 30 gesunden Kühen. Die Dopplerbilder waren im Vergleich zu den anderen Venen von besserer Qualität. Bei den unsedierten Tieren betrugen

die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene 0.54 ± 0.1 cm und der Venendurchmesser 1.28 ± 0.3 cm. Die maximale Blutflussgeschwindigkeit lag bei 45.40 ± 12.5 cm/s, die minimale bei 25.79 ± 11.6 cm/s und die durchschnittliche maximale bei 33.45 ± 9.5 cm/s (HÖGGER, 2006). Es wurde der Schluss gezogen, dass sich die Eutervene wegen ihrer guten Darstellbarkeit aufgrund der oberflächlichen Lage gut für die dopplersonographische Untersuchung eignet. Zudem transportiert sie eine genügend grosse Menge Blut für die dopplersonographische Messung (BRAUN und HÖGGER, 2008).

Die V. musculophrenica liess sich bei 29 von 30 gesunden Kühen darstellen. Bei den unseidierten Tieren wurden eine Distanz von der Hautoberfläche zur Vene von 2.05 ± 0.5 cm und ein Venendurchmesser von 0.73 ± 0.2 cm ermittelt. Die maximale Blutflussgeschwindigkeit betrug 90.17 ± 38.6 cm/s, die minimale 41.39 ± 24.2 cm/s und die durchschnittliche maximale 60.42 ± 22.3 cm/s (HÖGGER, 2006). Die Untersuchung zeigte, dass sich die V. musculophrenica aufgrund ihrer Grösse und Lokalisation in der Zwerchfellmuskulatur für die sonographische Untersuchung eignet. Ebenfalls transportiert sie eine genügend grosse Blutmenge, um dopplersonographisch erfasst zu werden. Der Vorteil der tiefen Lage der Vene liegt darin, dass im Gegensatz zur Eutervene kein Druck auf die Vene ausgeübt werden kann und damit die hämodynamischen Werte nicht artifiziell beeinflusst werden. Limitierend stellte sich einzig der verhältnismässig kleine Venendurchmesser dar (BRAUN und HÖGGER, 2008). Die Flussgeschwindigkeiten korrelierten negativ mit dem Gefässdurchmesser, das heisst, dass das Blut bei grösserem Venendurchmesser langsamer floss. Bei beiden Venen ergaben sich für alle erhobenen Parameter keine signifikanten Unterschiede vor und nach der Sedierung mit Xylazin. Die Venendurchmesser nahmen leicht zu und die Blutflussgeschwindigkeiten leicht ab (HÖGGER, 2006).

In der Dissertation von HÖGGER (2006) wurden bewusst oberflächliche Gefässe vermessen, um messtechnisch bedingte Fehler gering zu halten. Trotz allen möglichen Vorkehrungen konnten Bewegungen der Tiere, welche die Untersuchungen

und deren Interpretation erschwerten, nicht verhindert werden. Durch die Abwehrbewegungen der Kühe mussten die Gefäße häufig mehrere Male erneut aufgesucht werden, da sie verloren gingen und sich der Druck auf die Gefäßwände dadurch veränderte, was sich in einem verkleinerten Gefäßdurchmesser zeigte (HÖGGER, 2006).

Das Bild der Spektralkurven, welches für die untersuchten Venen nicht einheitlich war, zeigte sich meist als eine breite Bandenstruktur, die mehr oder weniger regelmässig bis leicht wellenförmig verlief. Dieses Erscheinungsmuster wurde durch die Atmung des Tieres oder das Vorhandensein einer benachbarten Arterie hervorgerufen. Eine Wellenform war häufig bei der V. musculophrenica, nicht jedoch bei der V. subcutanea abdominis zu beobachten (HÖGGER, 2006).

Die dopplersonographischen Untersuchungen wurden zusätzlich an kranken Tieren durchgeführt, wenn der Verdacht bestand, dass das Blutflussverhalten in den Gefäßen gegenüber den Normalwerten verändert war. Bei einer Kuh mit Euterhämatom und deshalb vermindertem Hämatokrit und erhöhter Herzfrequenz wurden erhöhte Blutflussgeschwindigkeiten beobachtet. Die Sedation mit Xylazin ergab kein einheitliches Bild von Veränderungen der Herz-/Kreislauf- und Blutflussparameter (HÖGGER, 2006).

5. MATERIAL UND METHODIK

5.1. Tiergruppen

5.1.1. Gruppe A: Untersuchungen bei 8 gesunden Kühen im Laktationsverlauf

Bei den Kühen der Gruppe A wurden über den Verlauf einer Laktation an 30 Tagen dopplersonographische Untersuchungen durchgeführt, um abzuklären, ob es im Laktationsverlauf zu Änderungen der dopplersonographischen und damit der hämodynamischen Befunde kommt.

Tiere

Die Gruppe A bestand aus 8 Kühen der Schweizer Braunvieh- ($n = 7$) und der Schweizer Fleckviehrasse ($n=1$) im Alter von 3.6 bis 14.1 Jahren ($\bar{x} \pm s = 8.0 \pm 3.3$ Jahre). Vier Kühe stammten aus der Aussenstation Stigenhof des Departements für Nutztiere. Die anderen vier Kühe wurden der Doktorandin für die Messperiode von privaten Landwirten für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Für die Untersuchungen im peripartalen Zeitraum wurden die Kühe während der Tage -1 (1 Tag ante partum) bis 9 (9 Tage post partum) am Tierspital gehalten. Danach wurden sie in die Herkunftsbetriebe zurückgebracht und jeweils für die monatlichen Untersuchungen für je drei Stunden ans Tierspital geholt. Die Transporte erfolgten mit dem klinikeigenen Tiertransporter. Die Betriebe lagen in einem Umkreis von 5.6 bis 15.5 km.

Verlauf des Körpergewichts während der Messperiode

Die Kühe wurden vor und nach der Kalbung und bei jeder weiteren monatlichen Untersuchung post partum gewogen (Abb. 1).

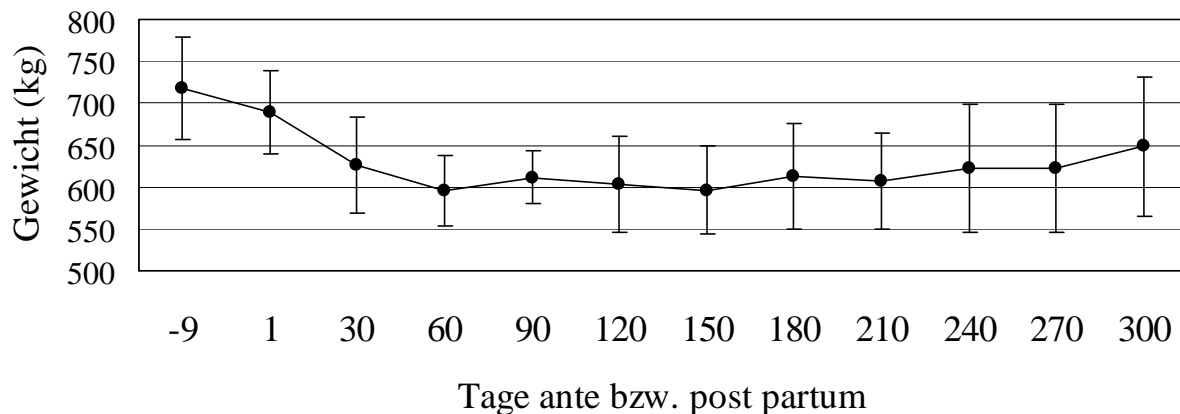


Abb. 1: Verlauf des Körpergewichts bei den 8 Kühen der Gruppe A 9 Tage ante partum bis 300 Tage post partum

Zeitpunkte der dopplersonographischen Untersuchungen

Vor und nach der Kalbung wurden die Kühe zehn Mal klinisch und dopplersonographisch untersucht. Die erste Untersuchung wurde 9 Tage vor dem errechneten Geburtstermin (Tag -9), die letzte 300 Tage post partum (Tag 300) durchgeführt. Der Tag der Geburt wurde als Tag 0 bezeichnet, wobei die Kalbung an diesem Tag immer vor der Untersuchung stattfand. Die Untersuchungen wurden vom Tag -9 bis zum Tag 10 täglich durchgeführt. Weitere Untersuchungen erfolgten an den Tagen 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 und 300. Die Untersuchungen fanden jeweils zwischen 8 und 10 Uhr morgens, 0.5 bis 2.5 Stunden nach dem Melken statt.

Klinische Untersuchungen

Die Kühe wurden vor jeder dopplersonographischen Untersuchung klinisch untersucht. Beim ersten Mal erfolgte die klinische Untersuchung nach den Richtlinien der Klinik für Wiederkäuer und umfasste die Beurteilung von Allgemeinbefinden, Futteraufnahme, Kot- und Harnabsatz, Körpertemperatur, Herzfrequenz, Atemfrequenz, Pansen- und Darmtätigkeit. Darüber hinaus erfolgten beidseits eine

Schwing- und Perkussionsauskultation. Der Harn wurde mittels Teststreifen (Combur) auf Ketonkörper untersucht und es wurde ein Glutaltest durchgeführt. Vor jeder weiteren dopplersonographischen Untersuchung erfolgte eine kurze klinische Untersuchung ohne Harnentnahme und Glutaltest, um den jeweiligen Gesundheitszustand, den puerperalen Verlauf und die Trächtigkeit beurteilen zu können.

Euter

Das Euter wurde vor jeder Untersuchung adspektorisch und palpatorisch beurteilt. Zudem wurde die Milch aller Viertel makroskopisch und mit Hilfe des Schalmtests untersucht.

5.1.2. Gruppe B: Untersuchungen bei gesunden Kühen mit unterschiedlicher Milchleistung

Die dopplersonographischen Untersuchungen an den Tieren der Gruppe B wurden durchgeführt, um abzuklären, ob sich die Werte von Galkühen und von Kühen mit 10 bzw. 20 Litern Milch pro Tag unterscheiden. Die Gruppe B bestand aus 15 Kühen der Schweizer Braunviehrasse im Alter von 2.5 bis 17 Jahren (8.3 ± 4.7 Jahre). Das Körpergewicht lag zwischen 500 und 795 kg (677.9 ± 84.8 kg). Alle Kühe waren am Tag der dopplersonographischen Untersuchung klinisch gesund. Sieben Kühe wurden wegen verschiedenen Krankheiten ans Tierspital Zürich eingeliefert und am Tag ihrer Entlassung aus der Klinik, als sie wieder gesund waren, dopplersonographisch untersucht.

Um den Einfluss der Milchleistung auf die dopplersonographischen Parameter zu untersuchen, wurden die Kühe in drei Gruppen eingeteilt: Zur Gruppe 1 gehörten 5 nicht laktierende Galkühe, welche mindestens vier Wochen trockengestellt und mindestens zwei Wochen vor dem errechneten Abkalbetermin waren. Zur Gruppe 2, der sogenannten 10-Liter-Gruppe, gehörten 5 Kühe mit einer Milchleistung zwischen 9.4 und 12.0 Litern pro Tag (9.4 bis 12.0 Liter, $\bar{x} \pm s = 11.0 \pm 1.4$ Liter)

und zur Gruppe 3, der sogenannten 20-Liter-Gruppe, gehörten 5 Kühe mit einer Milchleistung zwischen 18.4 und 22.0 Litern (20.5 ± 1.7 Liter) pro Tag.

Die klinische Untersuchung erfolgte wie bei den Kühen der Gruppe A. Die dopplersonographischen Untersuchungen wurden bei allen Kühen an der Euterveine und an der V. musculophrenica der linken und rechten Seite durchgeführt, um Normalwerte für die Unterschiede des Blutflusses bezüglich der Körperseiten zu bestimmen.

5.1.3. Gruppe C: Kranke Kühe und eine Kuh mit hoher Tagesmilchleistung

Die Gruppe C bestand aus vier Kühen mit Krankheiten, welche eventuell den Blutfluss an der Euterveine und/oder der V. musculophrenica beeinträchtigten. Es waren Kühe der Schweizer Braunvieh- ($n = 2$) und der Schweizer Fleckviehrasse ($n = 2$) im Alter von 3.4 bis 7 Jahren (5.9 ± 0.9 Jahre). Ihr Körpergewicht lag zwischen 505 und 680 kg (582.3 ± 64.8 kg). Alle Kühe waren als Patienten ans Tierhospital überwiesen worden.

Kuh Nr. 1, Braunvieh, 7 Jahre: Partiiell trockengestelltes Euterviertel vorne rechts infolge Zitzenverletzung

Die Kuh Nr. 1 (KG 08.748) war wegen einer perforierenden Zitzenverletzung an der Zitze vorne rechts operiert und postoperativ trockengestellt worden, wobei sie beim Eintritt in die Klinik vorne rechts eine akute Mastitis aufgewiesen hatte.

Kuh Nr. 2, Fleckvieh, 5.5 Jahre: Thrombophlebitis linke Eutervene

Die Kuh Nr. 2 (KG 07.825) war am Tag vor der Kalbung festgelegt und deshalb mit einer Kalziuminfusion in die linke Eutervene behandelt worden. Sie wurde 11 Tage post partum wegen einer rechtsseitigen Labmagenverlagerung in die Klinik eingeliefert. Dabei wurde eine injektionsbedingte Thrombophlebitis an der linken Eutervene festgestellt.

Kuh Nr. 3, 3 Jahre, Braunvieh: Endokarditis

Die Kuh Nr. 3 (KG 10.014) wurde wegen Verdacht auf Fremdkörpererkrankung an die Klinik überwiesen. Aufgrund der nach der klinischen Untersuchung eingeleiteten Echokardiographie war die Diagnose Endokarditis valvularis der Trikuspidalklappen, wahrscheinlich ausgehend von einer Perikarditis, gestellt worden.

Kuh Nr. 4, 5 Jahre, Braunvieh: Perikarditis

Die Kuh Nr. 4 (KG 09.477) wurde wegen Fieber zur Abklärung ans Tierspital überwiesen. Bei ihr war röntgenologisch und sonographisch eine Perikarditis diagnostiziert worden, welche vermutlich hämatogen infolge einer Galtmastitis verursacht worden war.

Kuh Nr. 5, 5.5 Jahre, Braunvieh: Milchleistung von 40 Litern

Die Kuh Nr. 5 (ohne KG-Nummer) wurde untersucht, um den Einfluss einer hohen Milchleistung auf die Blutflussparameter abzuklären. Sie war klinisch gesund und hatte in den vorangegangenen 24 Stunden bei 2 Melkakten 40.2 Liter Milch gegeben.

5.2. Sonographische Untersuchungen**5.2.1. Ultraschallgerät und Ultraschallsonde**

Die Untersuchungen wurden mit einem Hitachi Ultrasound Scanner EUB 8500 mit einer 7.5-MHz-Linearsonde (Hitachi Medical Systems, EUP-L535) für die Untersuchung der V. subcutanea abdominis und der V. musculophrenica durchgeführt. Um einen Sonden-Venen-Winkel von möglichst unter 60 Grad zu erreichen, wurde auf den Schallkopf eine Vorlaufstrecke (Stand-off) mit einer zusätzlichen Winkelkorrektur aufgesetzt. Für einen guten Kontakt zwischen Tier und Stand-off und Stand-off und Schallkopf wurde ein Gel (Aquasonic[®], Polymed, 8125 Opfi-

kon/Glattbrugg) aufgebracht. Die auf dem Ultraschallgerät gespeicherten Bilder wurden mittels einer wieder beschreibbaren MOD (magneto-optical-disc, 640 MB, Hitachi Medical Systems, Zug) auf einen PC geladen und ausgewertet.

5.2.2. Vorbereitung der Kühe

Die Kühe wurden in nicht sediertem Zustand in einem Untersuchungsstand der Klinik untersucht. Die Haare wurden im Bereich der V. subcutanea abdominis und der V. musculophrenica geschoren. Danach wurde die Haut mit Alkohol entfettet und mit Gleitgel bestrichen.

5.2.3. Dopplersonographische Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden an der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica durchgeführt. Bei den Kühen der Gruppe A wurden nur die linksseitig gelegenen Venen und bei den Kühen der Gruppen B und C die Venen beider Körperseiten untersucht. Die V. subcutanea abdominis wurde an zwei Stellen, unmittelbar vor bis 15 cm kranial des Euters (kaudaler Messpunkt) und beim Eintritt ins Milchnäpfchen (kranialer Messpunkt) untersucht. Da die V. subcutanea abdominis vor dem Euter häufig stark geschlängelt verlief, musste die Messung am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis teilweise 5 bis 14 cm nach kranial verlegt werden. Die V. musculophrenica wurde im sternalen Bereich, zwischen dem 5. und 6. Interkostalraum leicht ventral des Ellenbogens untersucht. An jeder Untersuchungsstelle wurden vier Messungen durchgeführt.

Eigentliche Untersuchungen

Die Gefäße wurden im Längsschnitt sonographisch untersucht. Zuerst wurden sie sonographisch aufgesucht und die Vene mit dem Schallkopf und aufgesetzter abgewinkelter Vorlaufstrecke untersucht, ohne den Venendurchmesser zu beeinflussen (B-Bild). Danach wurde der gepulste Doppler-Modus eingeschaltet, um die

Blutflussgeschwindigkeit während 10 Sekunden zu ermitteln. Dabei wurde das Doppler-Fenster bzw. der Doppler-Cursor in Richtung des Blutflusses gekippt und zusätzlich eine elektronische Winkelkorrektur verwendet, um möglichst akkurate Geschwindigkeitsmessungen parallel zur Blutflussrichtung zu erzielen. Der Doppler-Messbereich (Sample Volume) wurde maximal gewählt und so platziert, dass möglichst der gesamte Venendurchmesser abgedeckt wurde.

Die folgenden Parameter und Werte wurden erhoben:

D1 = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene (Hautoberfläche – innere Begrenzung der Vene)

D2 = Venendurchmesser (innere Begrenzung – innere Begrenzung der Vene)

Vp = Maximale (gemessene) Blutflussgeschwindigkeit (V peak/max)

Vd = Minimale (gemessene) Blutflussgeschwindigkeit (V min)

Vm = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit (V average peak)

FV = Flussvolumen.

D1 und D2 wurden durch die Untersucherin mit Hilfe der geräteeigenen Software gemessen. Vp, Vd und Vm wurden durch die Software des Ultraschallgerätes automatisch über die vorgegebene Zeitdauer von 10 Sekunden aus dem Spektraldopplerprofil berechnet. Die Berechnung des Flussvolumens erfolgte ebenfalls automatisch anhand des Zeit-Geschwindigkeits-Integrals (TVI = time-velocity integral) der intensitäts-gewichteten mittleren Blutflussgeschwindigkeit, dem aus dem Venendurchmesser (D2) berechneten Venenquerschnitt (CSA = cross-sectional area) sowie der fiktiven Herzfrequenz von 6 Schlägen pro Minute (resultierend aus dem vorgegebenen Messinterval von 10 Sekunden) ($FV = TVI \times CSA \times HR$).

Klinische und dopplersonographische Untersuchungen bei den Kühen der Gruppe C

Die klinische Untersuchung erfolgte wie bei den Kühen der Gruppen A und B. Die dopplersonographischen Untersuchungen wurden bei allen Kühen an der Euterve-

ne und an der V. musculophrenica der linken und rechten Seite durchgeführt. Bei den Kühen Nr. 1 und 2 wurden die Differenz der Werte beider Körperseiten miteinander verglichen und den Werten der Körperseiten der gesunden Kühe aus Gruppe A und B gegenübergestellt. Als Normbereich für die Differenz bezüglich hämodynamischer Unterschiede zwischen den Körperseiten wurde $\bar{x} \pm 2s$ verwendet. Bei der Kuh Nr. 3 mit Endokarditis, der Kuh Nr. 4 mit Perikarditis und der Kuh Nr. 5 mit der überdurchschnittlichen Milchleistung wurden die absoluten Werte beider Körperseiten mit den absoluten, durchschnittlichen Werten der Galtkühe der Gruppe B verglichen.

5.3. Statistik

Die Ergebnisse wurden mit dem Programm FileMaker Pro 8 (FileMaker, Inc., Santa Clara, CA, USA, 2005) erfasst und danach mit den Programmen StatView 5.1 (SAS Institut, 8602 Wangen, Schweiz) und STATA 10 (StataCorp LP, College Station, Texas, USA, 2009) statistisch ausgewertet. Initial wurden von jedem Parameter die Häufigkeiten, der Mittelwert und die Standardabweichung ermittelt. Die Ergebnisse wurden als Mittelwerte \pm Standardabweichungen ($\bar{x} \pm s$) angegeben. Für die deskriptive Analyse, die Regressionsanalyse und den Bonferroni-Test wurde das Programm StatView 5.1 verwendet. Mittels Regressionsanalysen wurden die Korrelationen zwischen der Milchleistung, dem Körpergewicht und den dopplersonographischen Parametern der Gruppe A berechnet. Für die Gegenüberstellung der Werte der drei Messpunkte der Kühe der Gruppe B und der Werte der Kühe mit unterschiedlicher Milchleistung der Gruppe B wurde ein Bonferroni-Test durchgeführt. Die Signifikanzprüfung der Verlaufskurven der Milchleistung und der dopplersonographischen Messwerte wurde anhand eines GLM (General Linear Model) mit dem Programm STATA 10 durchgeführt. Unterschiede mit einem P-Wert ≤ 0.05 wurden als signifikant bezeichnet.

5.4. Zusammenarbeit mit anderen Abteilungen der Universität Zürich

Am Zustandekommen der vorliegenden Arbeit waren ausser der Klinik für Wiederkäuer die folgenden Abteilungen der Vetsuisse-Fakultät Zürich beteiligt:

- Abteilung Pferdemedizin: Erarbeitung und Planung des sonographischen Messvorgangs und der Interpretation der dopplersonographischen Ergebnisse (PD Dr. C. Schwarzwald).
- Abteilung Ambulanz und Bestandesbetreuung: Statistische Bearbeitung der Ergebnisse (Prof. Dr. M. Hässig).

5.5. Tierversuchsbewilligung

Für die Versuche lag eine Tierversuchsbewilligung des Kantonalen Veterinäramts Zürich vor (89/2007). Sie war vom 18. 5. 2007 bis zum 19. 5. 2009 gültig.

6. ERGEBNISSE

6.1. Untersuchungen bei 8 gesunden Kühen im Laktationsverlauf (Gruppe A)

6.1.1. Klinische Untersuchung und Körpergewicht

Die Kühe waren, von kurz dauernden Erkrankungen bei vier Tieren abgesehen, über den Messzeitraum von zehn Monaten klinisch gesund. Zwei Kühe hatten am Tag der Geburt eine Torsio uteri, welche manuell behoben werden konnte. Eine weitere Kuh erkrankte einen Tag post partum an einer linksseitigen Labmagenverlagerung, welche erfolgreich operativ behandelt wurde. Bei einer Kuh trat während der Messperiode eine klinische Mastitis auf. Die Adspektion und Palpation des Euters und die grobsinnliche Milchuntersuchung waren bei allen Kühen stets unauffällig. Die Ergebnisse der Schalmtestuntersuchung variierten zwischen unauffällig und ++++. Bei einer Kuh mit gehäuft positivem Schalmtest wurde eine subklinische Infektion mit *Staphylococcus aureus* diagnostiziert.

Das durchschnittliche Körpergewicht schwankte während der Messperiode zwischen 596 und 718 kg (628.2 ± 59.3 kg). Die Verlaufskurve des Körpergewichts zeigte einen steilen Abfall zwischen den Messungen ante partum und dem 60. Tag post partum und einen langsamen Anstieg bis zum 300. Tag post partum. Das grösste durchschnittliche Gewicht wurde ante partum gemessen und betrug 717.9 ± 21.3 kg, das niedrigste wurde am 60. Tag post partum gemessen und betrug 595.6 ± 15.1 kg.

6.1.2. Vena subcutanea abdominis, kaudaler Messpunkt

6.1.2.1. Dopplersonographisches Erscheinungsbild

Die V. subcutanea abdominis konnte sonographisch bei jeder Kuh gut dargestellt werden (Abb. 2). Am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis konnten im Vergleich zur V. musculophrenica die besseren, im Vergleich zum kranialen Messpunkt des Gefässes die schlechteren Doppleraufnahmen erstellt werden. Bei

keiner Kuh konnten am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis Venenklappen dargestellt werden. Bei allen Messungen am kaudalen Messpunkt betrug der Messwinkel zwischen 50 und 60 Grad. Die Spektralkurven zeigten sich als Bandenstrukturen mit unterschiedlicher Breite. Je nach Verteilung der Blutflussgeschwindigkeiten der einzelnen Erythrozyten variierte die Breite der Spektralkurve. Bei einzelnen Kühen verlief die Kurve nicht gleichmässig gerade, sondern zeigte eine leichte Wellenstruktur.

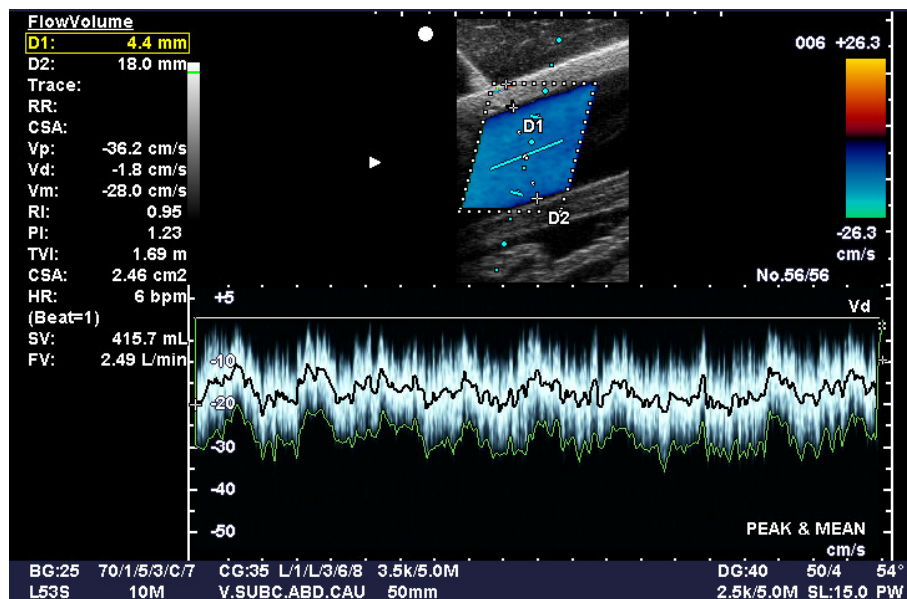


Abb. 2: Dopplersonographisches Bild der V. subcutanea abdominis am kaudalen Messpunkt bei einer Braunviehkuh am Tag 60 nach der Geburt. Oben ist das Gefäß im Längsschnitt mit dem überlagerten Farbfenster und dem Doppler-Cursor mit Samplevolume und Winkelkorrekturanzeige zu sehen. Unten ist die dazugehörige Spektralkurve im gepulsten Dopplermodus dargestellt. Die schwarze Kurve im Spektralbild beschreibt die intensitäts-gewichtete mittlere Flussgeschwindigkeit, die grüne Kurve die maximale gemessene Flussgeschwindigkeit zum jeweiligen Zeitpunkt. Links im Bild sind die vom Ultraschallgerät errechneten Parameter. Die fiktive Herzfrequenz (HR = 6 Schläge/Minute) ergibt sich aus dem vorgegebenen Messintervall von 10 Sekunden. Die Werte RI, PI und SV sind für venöse Flüsse bedeutungslos und wurden nicht ausgewertet.

6.1.2.2. Blutflussparameter

Die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene lag im Untersuchungszeitraum zwischen 3.3 und 15.4 mm (5.82 ± 2.4 mm; Abb. 3). Der Venendurchmesser variierte im Verlauf der Laktation zwischen 14.7 und 33.3 mm (21.64 ± 4.6 mm; Abb. 4).

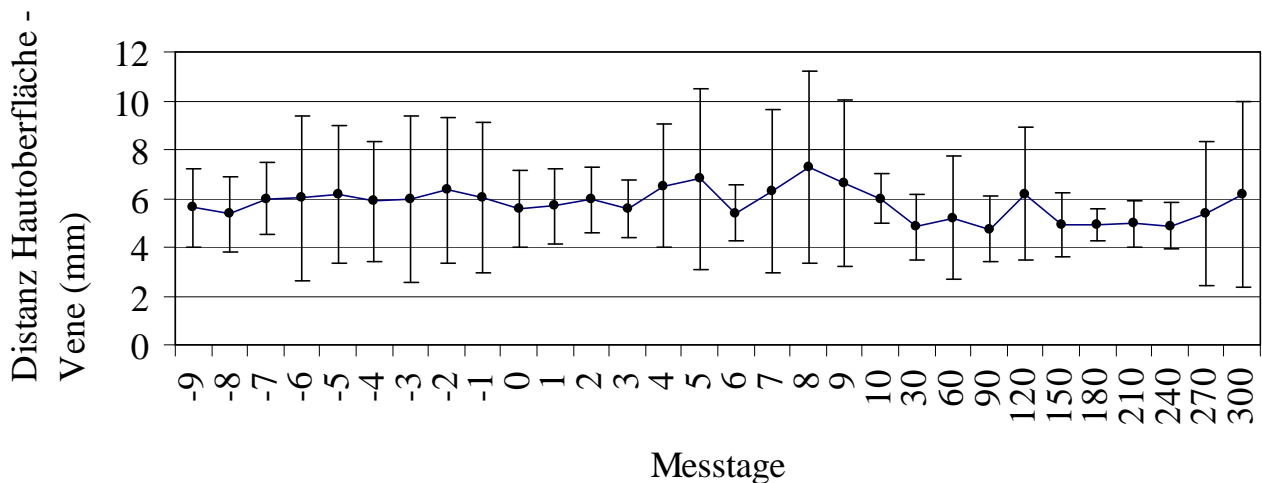


Abb. 3: Verlaufskurve der Distanz von der Hautoberfläche zur V. subcutanea abdominis der 8 Kühe am kaudalen Messpunkt vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

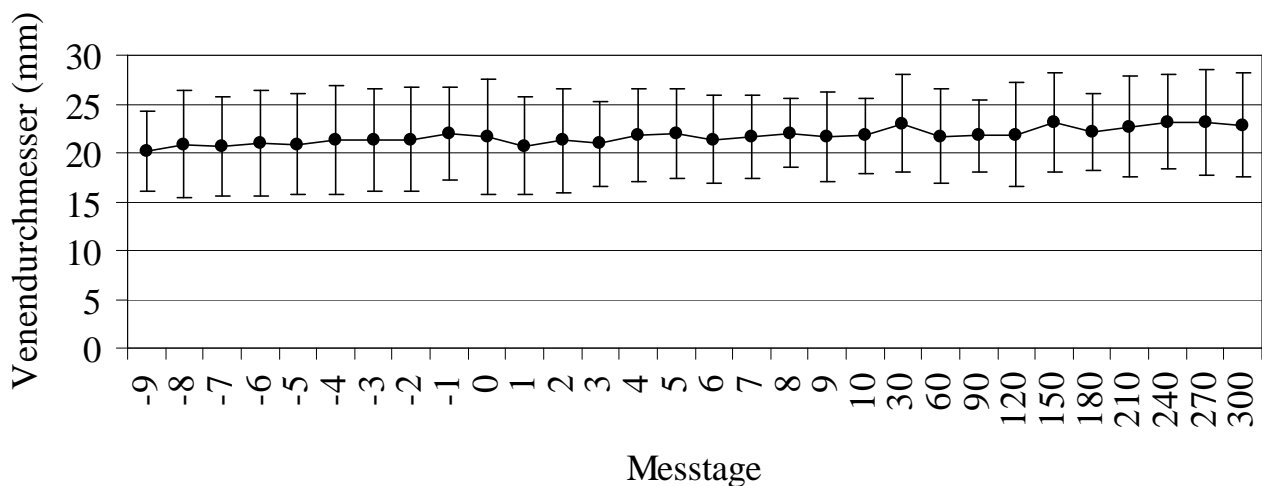


Abb. 4: Verlaufskurve des Venendurchmessers der 8 Kühe am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Die maximale Flussgeschwindigkeit des Blutes schwankte zwischen 31.4 und 84.3 cm/s (42.45 ± 16.6 cm/s), die minimale zwischen 0.3 und 17.8 cm/s (2.84 ± 1.9 cm/s) und die durchschnittliche maximale zwischen 5.6 und 69.8 cm/s (27.68 ± 12.4 cm/s). Das die V. subcutanea abdominis am kaudalen Messpunkt durchfließende Blutvolumen betrug 0.9 bis 8.2 l/min (2.88 ± 0.1 l/min). Die Werte über den Untersuchungszeitraum an den einzelnen Messtagen sind in der Tab. 1 aufgeführt. Die Kurven der Parameter maximale (Abb. 5), minimale (Abb. 6) und durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit (Abb. 7) zeigten einen am Tag vor der Kalbung (Messtag -1) steil ansteigenden und dann langsam bis zum Tag 300 p. p. abfallenden Verlauf. Ausgehend von Werten für die maximale Blutflussgeschwindigkeit (V_p) von 30.66 ± 14.0 cm/s, für die minimale Blutflussgeschwindigkeit (V_d) von 1.85 ± 1.0 cm/s und die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit (V_m) von 19.93 ± 9.7 cm/s stiegen die Werte am Tag nach der Kalbung auf Maxima von 61.14 ± 16.2 cm/s (V_p), 5.65 ± 5.1 cm/s (V_d) und 42.62 ± 14.1 cm/s (V_m) an. Am Ende der Messungen betrug die maximale Blutflussgeschwindigkeit 23.84 ± 12.7 cm/s, die minimale 2.61 ± 2.7 cm/s und die durchschnittliche maximale 14.55 ± 8.3 cm/s.

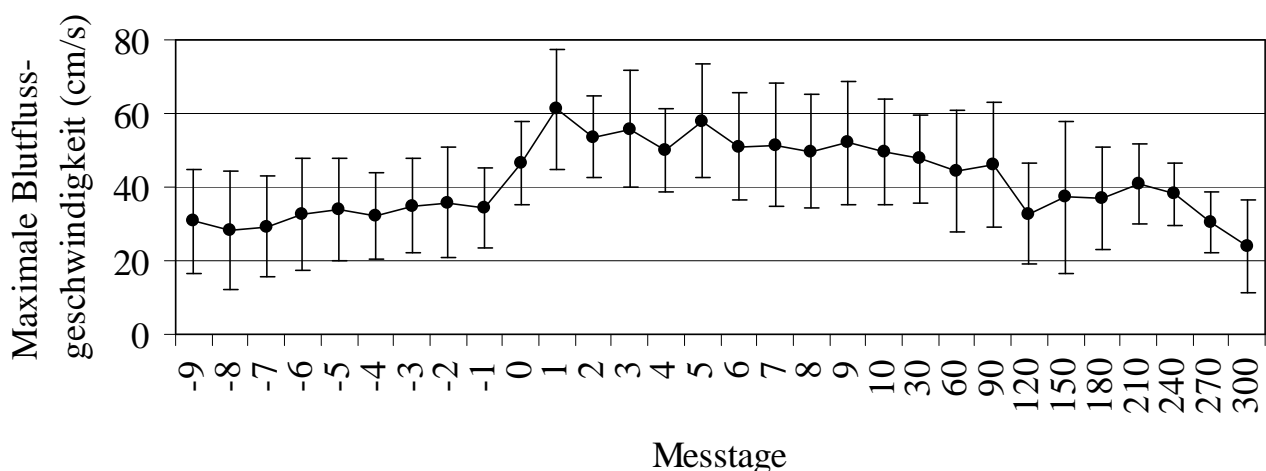


Abb. 5: Verlaufskurve der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

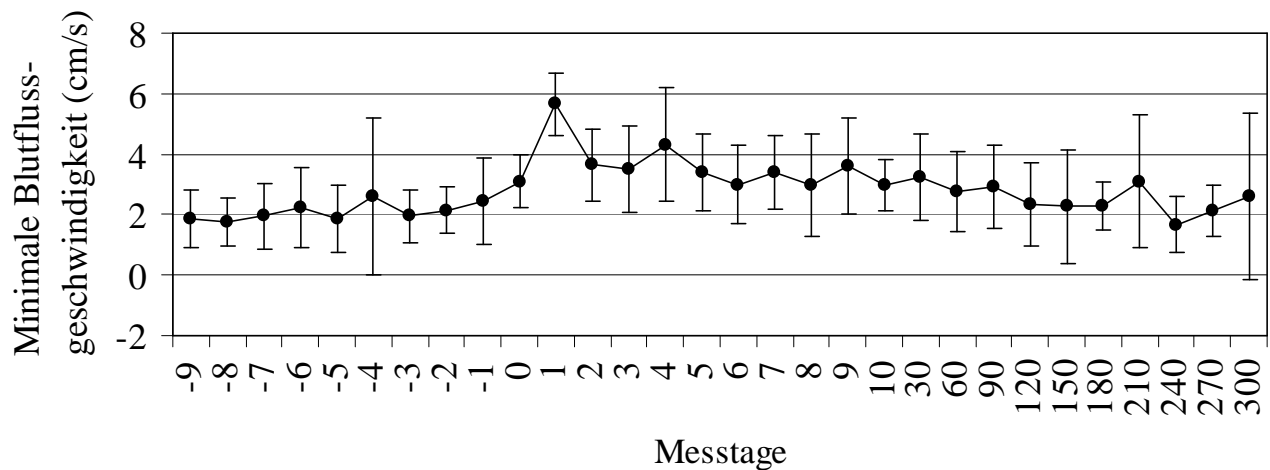


Abb. 6: Verlaufskurve der minimalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

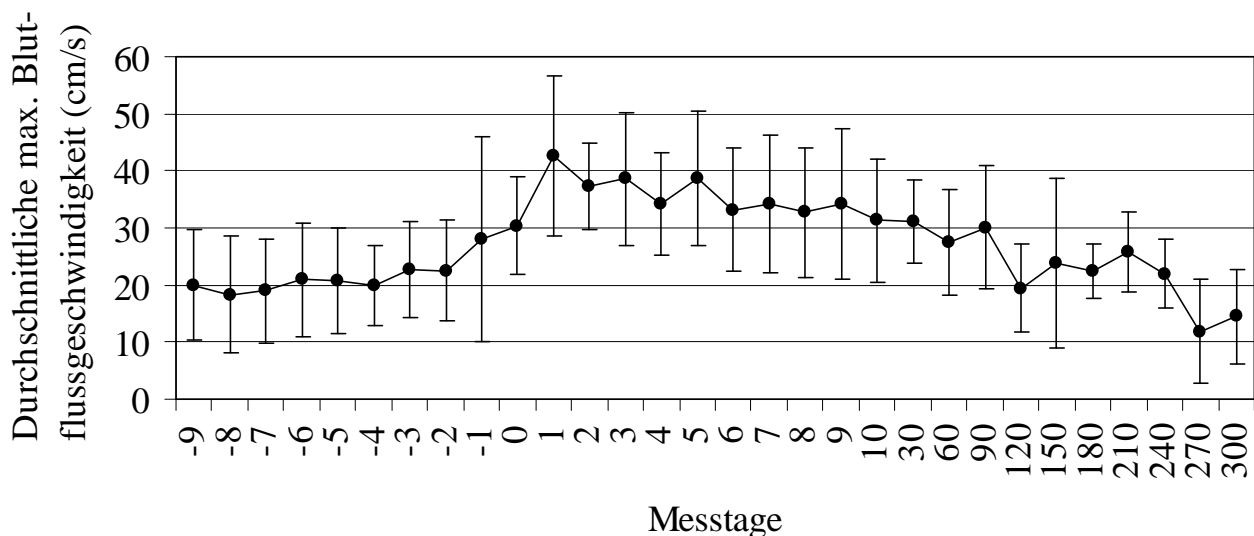


Abb. 7: Verlaufskurve der durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Die Kurve über die Messperiode für das Flussvolumen verhielt sich gleich wie die Kurven für die Blutflussgeschwindigkeiten (Abb. 8). Das Flussvolumen betrug zu Beginn der Messungen am Tag 9 vor der Kalbung 1.98 ± 1.0 l/min, um dann am

Tag 2 post partum nach kleineren Schwankungen und einem steilen Anstieg zwischen dem Tag vor der Kalbung und dem Tag der Kalbung den Maximalwert von 4.02 ± 1.8 l/min zu erreichen. Der flache Abfall der Flussvolumenmenge wurde am letzten Tag der Messungen (300 Tage nach der Kalbung) mit dem zweittiefsten Wert von 1.72 ± 1.1 l/min beendet.

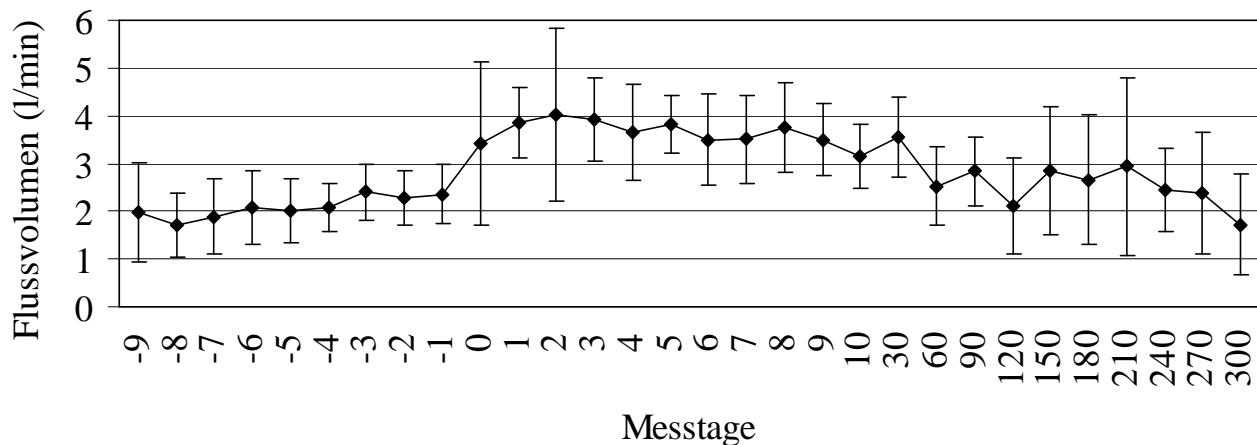


Abb. 8: Verlaufskurve des Flussvolumens der 8 Kühe am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Signifikante Veränderungen im Laktationsverlauf

Das Flussvolumen veränderte sich im Verlauf der Laktation signifikant ($P < 0.05$). Der Venendurchmesser zeigte eine tendenzielle Veränderung ($P = 0.053$) und die übrigen Parameter (Distanz von der Hautoberfläche zur Vene, die maximale, minimale und durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit) wiesen im Laktationsverlauf keine signifikanten Veränderungen auf.

Tab. 1: Dopplersonographische Parameter an der V. subcutanea abdominis, erhoben am kaudalen Messpunkt, bei 8 Kühen vom Tag -9 ante partum bis zum Tag 300 post partum (Mittelwerte, Standardabweichungen und Schwankungsbreiten)

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
-9	5.61 ± 1.6 (4.2 – 8.6)	20.13 ± 4.1 (16.7 – 27.6)	30.66 ± 14.0 (15.7 – 47.8)	1.85 ± 1.0 (0.7 – 3.2)	19.93 ± 9.7 (9.1 – 36.1)	1.98 ± 1.0 (1.0 – 3.8)
-8	5.36 ± 1.5 (3.9 – 8.2)	20.89 ± 5.5 (15.5 – 15.7)	28.16 ± 16.0 (9.2 – 54.9)	1.75 ± 0.8 (0.5 – 2.9)	18.28 ± 10.2 (5.8 – 36.0)	1.71 ± 0.7 (0.9 – 2.9)
-7	6.00 ± 1.5 (4.4 – 9.1)	20.66 ± 5.2 (16.2 – 30.1)	29.30 ± 13.6 (10.4 – 49.0)	1.96 ± 1.1 (0.6 – 3.7)	18.95 ± 9.1 (6.4 – 35.6)	1.89 ± 0.8 (1.0 – 3.5)
-6	6.02 ± 3.4 (4.0 – 14.1)	20.99 ± 5.4 (14.8 – 30.9)	32.61 ± 15.4 (12.4 – 55.3)	2.23 ± 1.3 (0.5 – 4.9)	20.91 ± 9.9 (7.1 – 37.9)	2.08 ± 0.8 (1.1 – 3.3)
-5	6.17 ± 2.8 (3.9 – 12.7)	20.90 ± 5.1 (16.6 – 30.0)	33.94 ± 3.9 (11.3 – 51.6)	1.86 ± 1.1 (0.7 – 4.3)	20.70 ± 9.2 (7.0 – 38.2)	2.00 ± 0.7 (1.4 – 3.4)
-4	5.88 ± 2.5 (3.8 – 11.4)	21.32 ± 5.5 (16.7 – 32.0)	32.03 ± 11.7 (13.4 – 46.4)	2.60 ± 2.6 (0.9 – 8.9)	20.00 ± 7.0 (8.3 – 30.3)	2.08 ± 0.5 (1.6 – 3.2)
-3	5.96 ± 3.4 (3.6 – 14.0)	21.25 ± 5.2 (16.4 – 32.0)	34.96 ± 12.7 (13.1 – 50.5)	1.94 ± 0.9 (0.7 – 3.5)	22.69 ± 8.4 (8.2 – 33.7)	2.40 ± 0.6 (1.5 – 3.2)
-2	6.33 ± 3.0 (4.0 – 13.3)	21.37 ± 5.4 (16.8 – 31.4)	35.76 ± 15.0 (15.3 – 61.8)	2.15 ± 0.8 (0.9 – 3.0)	22.47 ± 8.8 (9.4 – 36.6)	2.29 ± 0.6 (1.4 – 3.3)
-1	6.06 ± 3.1 (3.4 – 13.1)	21.96 ± 4.8 (16.7 – 30.1)	34.36 ± 10.9 (18.9 – 55.3)	2.43 ± 1.4 (1.2 – 5.4)	28.03 ± 18.1 (11.7 – 69.8)	2.36 ± 0.6 (1.7 – 3.6)
0	5.58 ± 1.6 (4.0 – 8.6)	21.57 ± 5.9 (16.5 – 32.2)	46.51 ± 11.2 (24.3 – 55.4)	3.09 ± 0.9 (1.5 – 4.4)	30.40 ± 8.5 (14.4 – 38.0)	3.41 ± 1.7 (1.9 – 7.3)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

Fortsetzung von Tab. 1

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
1	5.69 ± 1.5 (3.3 – 8.0)	20.71 ± 5.0 (16.0 – 31.1)	61.14 ± 16.2 (29.3 – 79.5)	5.65 ± 5.1 (1.7 – 17.8)	42.62 ± 14.1 (18.0 – 62.2)	3.85 ± 0.7 (3.1 – 4.7)
2	5.94 ± 1.3 (3.8 – 7.6)	21.28 ± 5.3 (14.7 – 32.7)	53.54 ± 11.1 (34.1 – 69.0)	3.64 ± 1.2 (1.5 – 5.1)	37.24 ± 7.5 (24.9 – 46.5)	4.02 ± 1.8 (2.0 – 8.2)
3	5.58 ± 1.2 (3.8 – 7.2)	20.92 ± 4.4 (16.4 – 29.5)	55.70 ± 15.8 (31.2 – 84.3)	3.49 ± 1.4 (1.4 – 5.6)	38.63 ± 11.6 (21.2 – 59.6)	3.92 ± 0.9 (2.7 – 5.3)
4	6.51 ± 2.5 (3.8 – 11.7)	21.83 ± 4.8 (16.5 – 31.2)	49.87 ± 11.4 (26.6 – 60.0)	4.30 ± 3.4 (1.5 – 12.4)	34.12 ± 8.9 (17.1 – 41.9)	3.66 ± 1.0 (2.1 – 4.9)
5	6.81 ± 3.7 (3.8 – 15.4)	22.01 ± 4.6 (17.0 – 30.6)	58.00 ± 15.5 (28.0 – 77.5)	3.39 ± 1.3 (0.9 – 5.4)	38.77 ± 11.8 (16.4 – 55.8)	3.82 ± 0.6 (3.1 – 4.9)
6	5.41 ± 1.1 (3.6 – 6.9)	21.38 ± 4.5 (15.6 – 30.1)	51.06 ± 14.5 (23.9 – 68.2)	3.00 ± 1.3 (1.7 – 5.3)	33.22 ± 10.8 (14.3 – 50.7)	3.50 ± 1.0 (2.0 – 4.8)
7	6.30 ± 3.3 (3.6 – 14.3)	21.65 ± 4.3 (15.9 – 28.7)	51.46 ± 16.7 (23.3 – 77.1)	3.41 ± 1.2 (0.8 – 4.6)	34.26 ± 12.0 (13.6 – 54.3)	3.51 ± 0.9 (1.8 – 4.4)
8	7.29 ± 3.9 (4.2 – 15.3)	22.02 ± 3.6 (18.3 – 28.7)	49.67 ± 15.4 (20.7 – 71.0)	2.98 ± 1.7 (1.0 – 6.8)	32.78 ± 11.4 (11.7 – 50.7)	3.75 ± 0.9 (2.3 – 4.7)
9	6.61 ± 3.4 (3.8 – 14.6)	21.70 ± 4.6 (16.5 – 30.6)	51.99 ± 16.8 (23.9 – 79.5)	3.61 ± 1.6 (1.6 – 6.3)	34.19 ± 13.2 (14.7 – 55.8)	3.50 ± 0.8 (2.4 – 4.7)
10	5.97 ± 1.0 (4.0 – 7.3)	21.75 ± 3.9 (18.0 – 29.4)	49.62 ± 14.4 (26.0 – 69.5)	2.97 ± 0.8 (1.9 – 4.8)	31.30 ± 10.8 (14.5 – 49.1)	3.15 ± 0.7 (2.0 – 4.1)
30	4.82 ± 1.4 (3.4 – 7.2)	23.01 ± 5.0 (19.1 – 33.3)	47.66 ± 12.1 (25.3 – 61.8)	3.25 ± 1.4 (1.5 – 5.9)	31.11 ± 7.4 (15.8 – 39.4)	3.55 ± 0.8 (2.9 – 5.1)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

Fortsetzung von Tab. 1

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
60	5.20 ± 2.5 (2.9 – 11.1)	21.65 ± 4.8 (17.1 – 29.8)	44.33 ± 16.5 (20.0 – 70.6)	2.76 ± 1.3 (0.8 – 5.3)	27.42 ± 9.3 (10.8 – 37.7)	2.53 ± 0.8 (1.5 – 3.9)
90	4.75 ± 1.3 (3.5 – 7.2)	21.75 ± 3.7 (17.9 – 27.8)	46.19 ± 17.0 (26.3 – 68.8)	2.93 ± 1.4 (1.7 – 4.7)	30.14 ± 10.7 (18.6 – 46.8)	2.84 ± 0.7 (1.8 – 3.7)
120	6.20 ± 2.7 (4.3 – 11.6)	21.8 ± 5.3 (17.9 – 31.9)	32.71 ± 13.7 (22.7 – 52.3)	2.35 ± 1.4 (1.2 – 4.8)	19.46 ± 7.7 (14.2 – 33.3)	2.10 ± 1.0 (1.0 – 3.7)
150	4.92 ± 1.3 (3.8 – 6.9)	23.10 ± 5.1 (18.6 – 30.9)	37.24 ± 20.6 (17.1 – 68.6)	2.26 ± 1.9 (0.6 – 5.0)	23.79 ± 14.8 (9.9 – 46.5)	2.86 ± 1.3 (1.4 – 4.2)
180	4.91 ± 0.7 (4.1 – 5.6)	22.07 ± 3.9 (18.3 – 28.1)	36.81 ± 13.9 (18.7 – 55.9)	2.28 ± 0.8 (1.1 – 3.0)	22.42 ± 4.7 (16.3 – 28.5)	2.66 ± 1.4 (1.4 – 4.7)
210	4.96 ± 1.0 (3.9 – 6.4)	22.70 ± 5.2 (18.4 – 31.59)	41.00 ± 10.9 (26.6 – 55.8)	3.09 ± 2.2 (1.4 – 6.9)	25.78 ± 7.1 (18.7 – 37.7)	2.94 ± 1.9 (1.8 – 6.2)
240	4.89 ± 0.9 (3.7 – 6.3)	23.18 ± 4.8 (18.3 – 30.5)	38.09 ± 8.5 (31.7 – 51.1)	1.66 ± 0.9 (0.8 – 3.2)	21.97 ± 6.1 (16.2 – 32.3)	2.44 ± 0.9 (1.6 – 3.7)
270	5.40 ± 2.9 (3.4 – 10.6)	23.12 ± 5.4 (18.0 – 31.4)	30.37 ± 8.2 (20.7 – 40.7)	2.11 ± 0.9 (1.4 – 3.6)	11.90 ± 14.0 (12.6 – 21.1)	2.38 ± 1.3 (1.2 – 4.5)
300	6.17 ± 3.8 (3.4 – 12.6)	22.87 ± 5.3 (18.1 – 31.5)	23.84 ± 12.7 (9.9 – 41.7)	2.61 ± 2.7 (0.3 – 6.8)	14.55 ± 8.3 (5.6 – 27.9)	1.72 ± 1.1 (1.0 – 3.6)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

6.1.3. Vena subcutanea abdominis, kranialer Messpunkt

6.1.3.1. Dopplersonographisches Erscheinungsbild

Bei allen 8 Kühen konnte die V. subcutanea abdominis am kranialen Messpunkt gut dargestellt werden (Abb. 9). Im Gegensatz zum kaudalen Messpunkt zeigte die Vene im kranialen Bereich meist einen geraden Verlauf. Das dopplersonographische Erscheinungsbild der V. subcutanea abdominis am kranialen Messpunkt entsprach mehrheitlich dem am kaudalen Messpunkt gesehenen Bild. Bei 2 Kühen konnten Venenklappen dargestellt werden, wobei die Messung, um keine turbulenten Blutströme mit zu messen, kranial oder kaudal der Venenklappen erfolgte. Die gepulsten Spektraldopplermessungen wurden wie am kaudalen Messpunkt im Gefäßlängsschnitt vorgenommen und es konnte immer ein Messwinkel zwischen 50 und 60 Grad eingehalten werden. Die Spektralkurven zeigten sich identisch zum kaudalen Messpunkt.

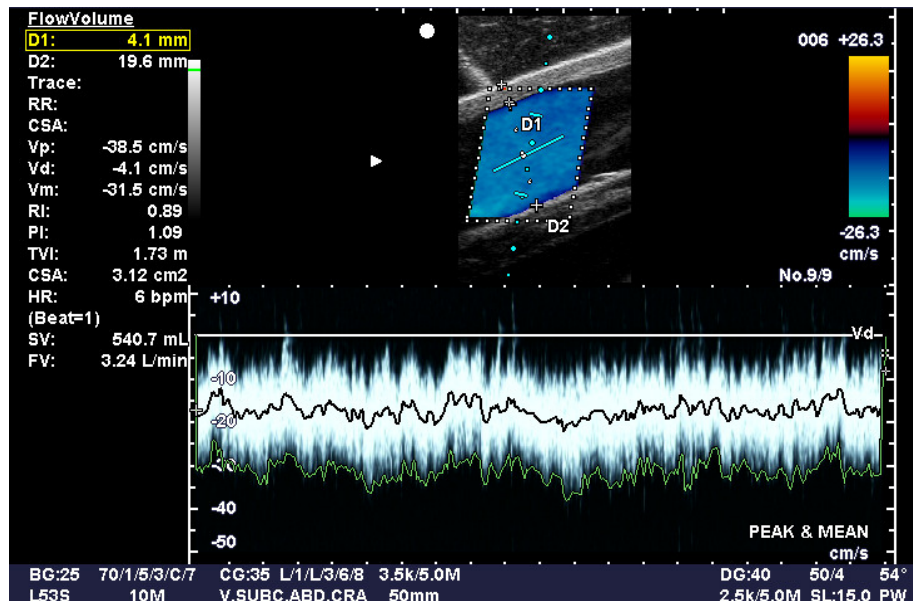


Abb. 9: Dopplersonographisches Bild der V. subcutanea abdominis am kranialen Messpunkt bei einer Braunviehkuh am Tag 30 nach der Kalbung. Oben ist das Gefäß im Längsschnitt mit dem überlagerten Farbfenster und dem Doppler-Cursor mit Samplevolume und Winkelkorrekturanzeige zu sehen. Unten ist die dazugehörige Spektralkurve im gepulsten Dopplermodus dargestellt. Die schwarze Kurve im Spektralbild beschreibt die intensitäts-gewichtete mittlere Flussgeschwindigkeit, die grüne Kurve die maximale gemessene Flussgeschwindigkeit zum jeweiligen Zeitpunkt. Links im Bild sind die vom Ultraschallgerät errechneten Parameter. Die fiktive Herzfrequenz (HR = 6 Schläge/Minute) ergibt sich aus dem vorgegebenen Messintervall von 10 Sekunden. Die Werte RI, PI und SV sind für venöse Flüsse bedeutungslos und wurden nicht ausgewertet.

6.1.3.2. Blutflussparameter

Die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene lag über den Untersuchungszeitraum zwischen 3.55 und 15.43 mm (5.23 ± 0.1 mm; Abb. 10). Der Venendurchmesser variierte zwischen 13.25 und 26.50 mm (18.23 ± 0.2 mm; Abb. 11).

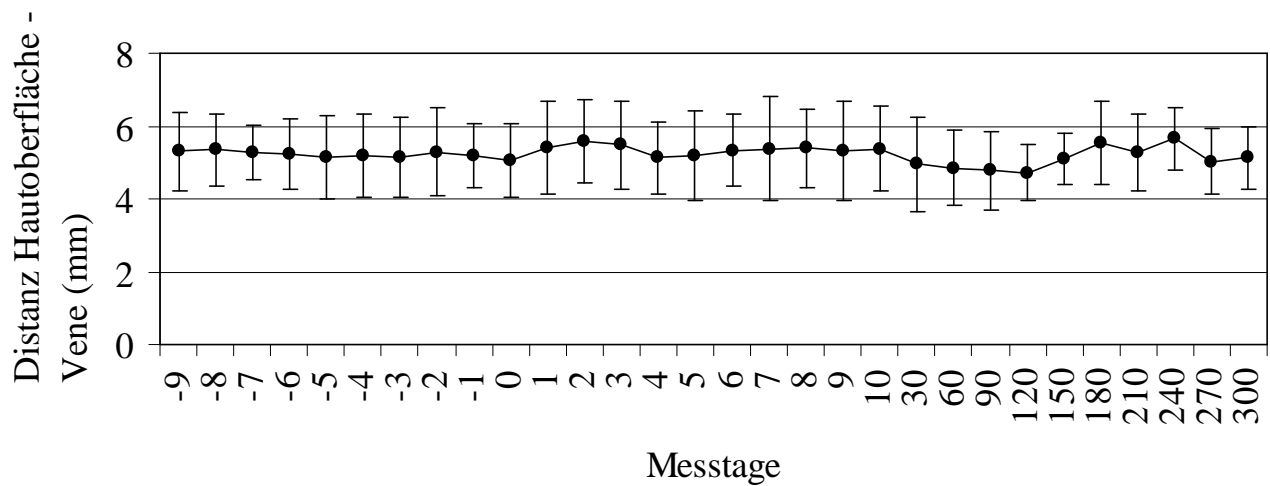


Abb. 10: Verlaufskurve der Distanz von der Hautoberfläche zur Vene der 8 Kühe am kranialen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

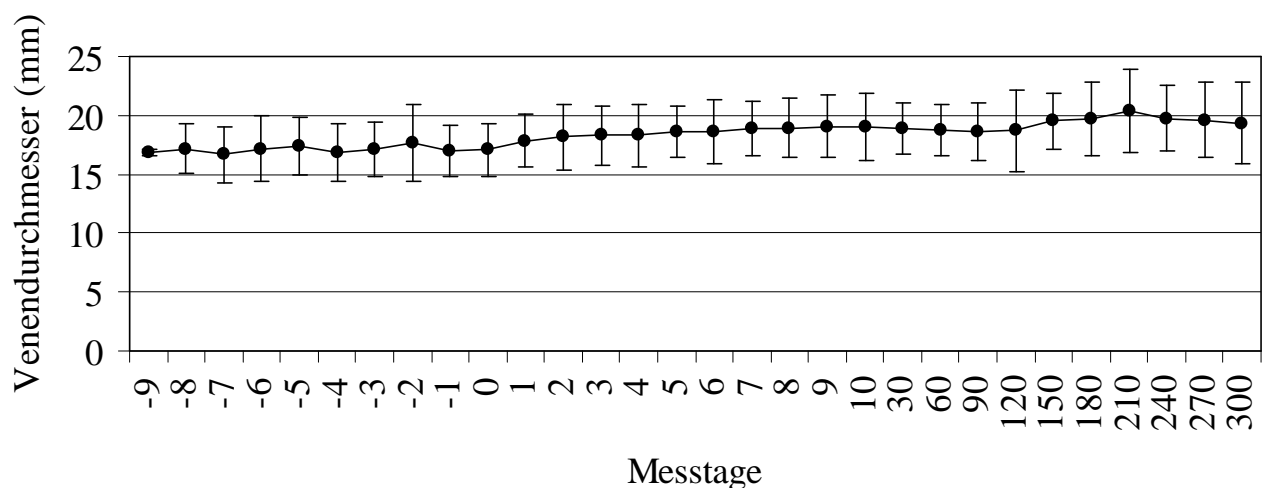


Abb. 11: Verlaufskurve des Venendurchmessers der 8 Kühe am kranialen Messpunkt vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis Tag zum 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Die maximale Flussgeschwindigkeit des Blutes schwankte zwischen 18.48 und 64.13 cm/s (40.57 ± 0.7 cm/s), die minimale zwischen 0.73 und 10.58 cm/s (2.96 ± 0.1 cm/s) und die durchschnittliche maximale zwischen 10.00 und 52.23 cm/s (30.03 ± 0.7 cm/s). Das Flussvolumen lag zwischen 0.86 und 5.74 l/min ($2.75 \pm$

0.1 l/min). Die Werte über den Untersuchungszeitraum an den einzelnen Messtagen sind in der Tab. 2 aufgeführt.

Die Verlaufskurven der Parameter maximale (Abb. 12), minimale (Abb. 13) und durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit (Abb. 14) zeigten einen am Tag vor der Kalbung (Messtag -1) steil ansteigenden und dann langsam bis zum Tag 300 p. p. abfallenden Verlauf. Ausgehend von Werten für die maximale Blutflussgeschwindigkeit (V_p) von $32.45 \pm 11.1 \text{ cm/s}$, für die minimale Blutflussgeschwindigkeit (V_d) von $2.21 \pm 0.7 \text{ cm/s}$ und die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit (V_m) von $23.36 \pm 8.3 \text{ cm/s}$ stiegen die Werte am Tag 1 bzw. 2 nach der Kalbung auf Maxima von $55.37 \pm 6.0 \text{ cm/s}$ (V_p , Tag 1), $4.23 \pm 2.2 \text{ cm/s}$ (V_d , Tag 2) und $42.16 \pm 5.9 \text{ cm/s}$ (V_m , Tag 1) an. Am Tag 300 betrug die maximale Blutflussgeschwindigkeit $26.82 \pm 10.6 \text{ cm/s}$, die minimale $1.85 \pm 0.8 \text{ cm/s}$ und die durchschnittliche maximale $17.25 \pm 8.5 \text{ cm/s}$.

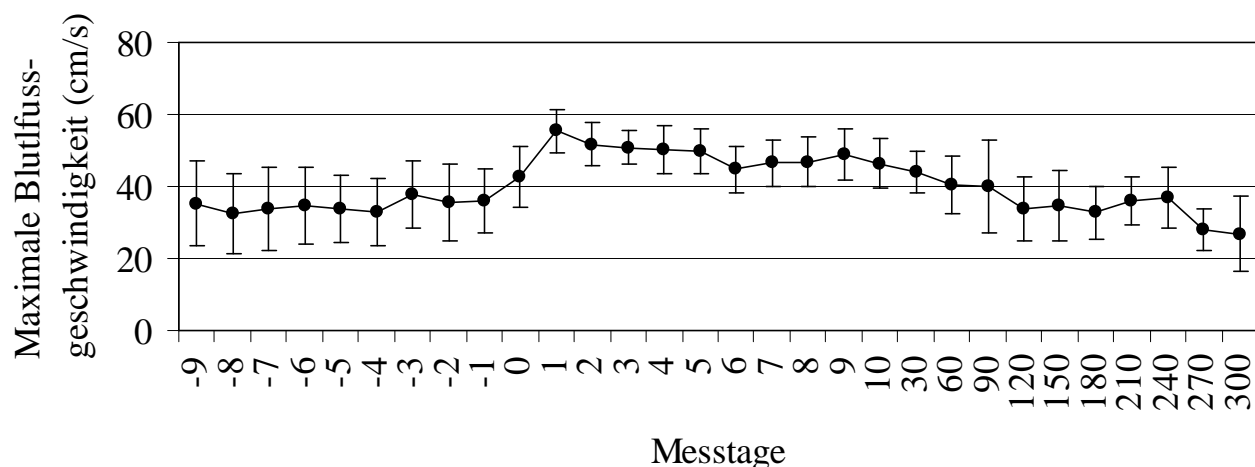


Abb. 12: Verlaufskurve der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe am kranialen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

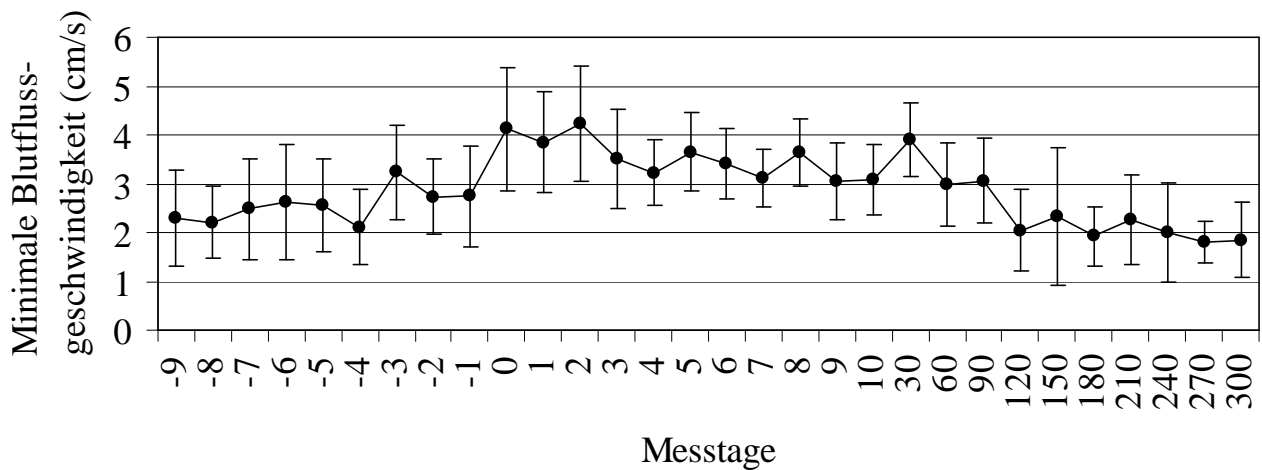


Abb. 13: Verlaufskurve der minimalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe am kranialen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

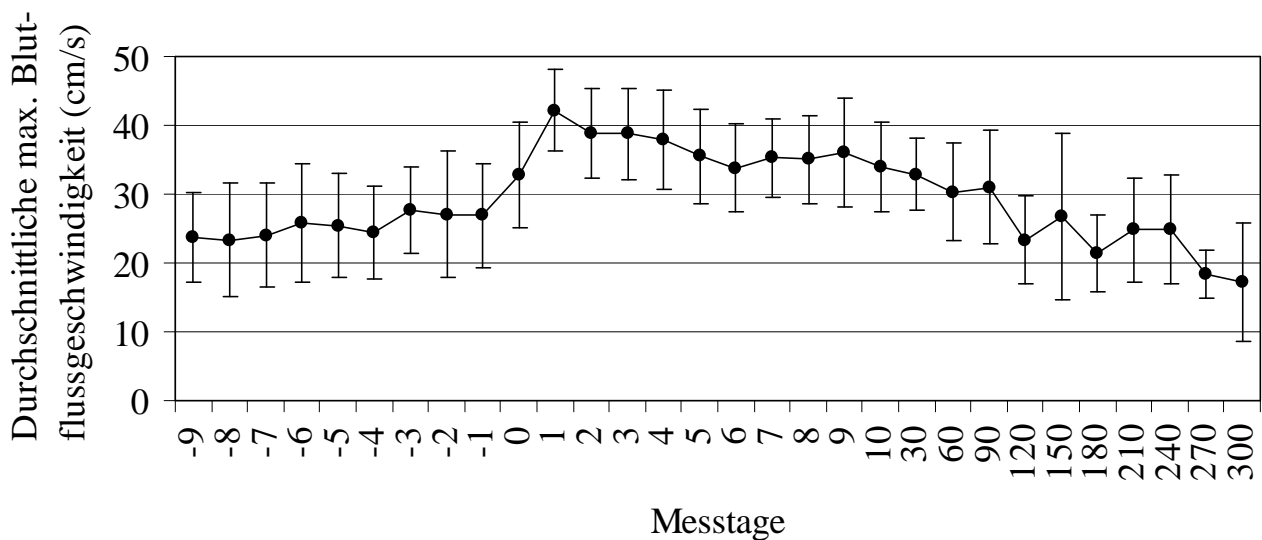


Abb. 14: Verlaufskurve der durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe am kranialen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Die Kurve über die Messperiode für das Flussvolumen verhielt sich gleich wie die Kurven für die Blutflussgeschwindigkeiten (Abb. 15). Das Flussvolumen lag zu

Beginn der Messungen am Tag 9 vor der Kalbung bei 1.95 ± 0.6 l/min und erreichte nach kleineren Schwankungen und einem steilen Anstieg am Tag 1 vor der Kalbung den Maximalwert von 3.72 ± 1.1 l/min. Die Flussvolumenmenge erreichte nach einem flachen Abfall der Kurve am letzten Tag der Messungen (Tag 300) den Minimalwert von 1.62 ± 0.6 l/min.

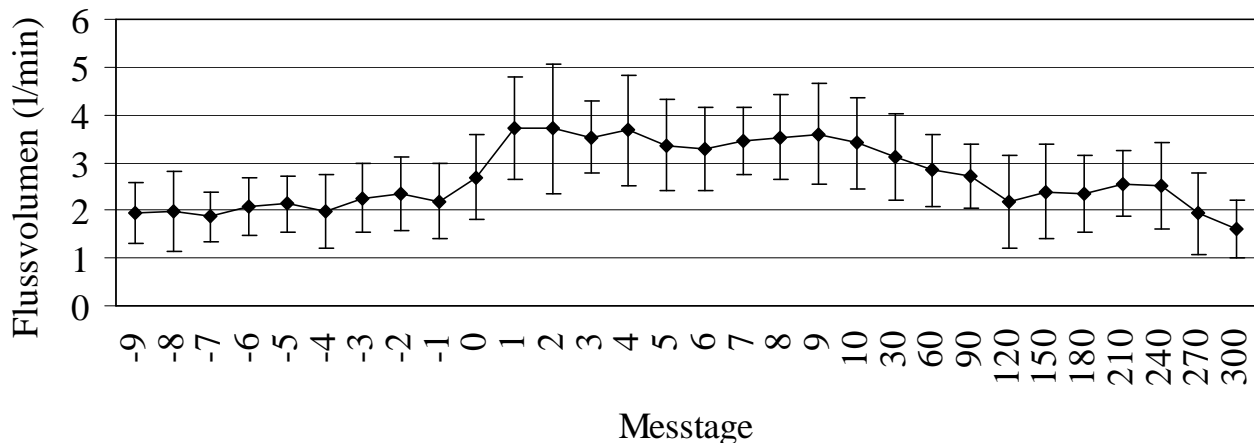


Abb. 15: Verlaufskurve des Flussvolumens der 8 Kühe am kranialen Messpunkt der V. subcutanea abdominis vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Signifikante Veränderungen im Laktationsverlauf

Im Laktationsverlauf zeigten das Flussvolumen und der Venendurchmesser signifikante Unterschiede ($P < 0.05$ bzw. 0.01). Die übrigen Parameter (Distanz von der Hautoberfläche zur Vene, maximale, minimale und durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeiten) wiesen im Laktationsverlauf keine signifikanten Veränderungen auf.

Tab. 2: Dopplersonographische Parameter an der V. subcutanea abdominis, erhoben am kranialen Messpunkt, bei 8 Kühen vom Tag -9 ante partum bis zum Tag 300 post partum (Mittelwerte, Standardabweichungen und Schwankungsbreiten)

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
-9	5.31 ± 1.1 (4.4 – 6.9)	16.87 ± 0.3 (16.7 – 17.4)	35.31 ± 11.6 (21.2 – 51.0)	2.30 ± 1.0 (14.0 – 31.7)	23.75 ± 6.5 (14.0 – 31.7)	1.95 ± 0.6 (1.1 – 3.0)
-8	5.35 ± 1.0 (4.0 – 6.8)	17.19 ± 2.1 (15.4 – 21.4)	32.45 ± 11.1 (18.5 – 47.5)	2.21 ± 0.7 (11.5 – 33.4)	23.36 ± 8.3 (11.5 – 33.4)	1.97 ± 0.8 (0.9 – 3.5)
-7	5.28 ± 0.7 (4.2 – 6.4)	16.67 ± 2.4 (14.0 – 21.4)	33.64 ± 11.5 (19.5 – 50.6)	2.49 ± 1.0 (12.2 – 34.5)	24.02 ± 7.5 (12.2 – 34.5)	1.86 ± 0.5 (1.0 – 2.4)
-6	5.24 ± 1.0 (3.9 – 7.0)	17.17 ± 2.8 (14.2 – 23.4)	34.73 ± 10.5 (21.1 – 50.7)	2.63 ± 1.2 (13.6 – 38.6)	25.83 ± 8.6 (13.6 – 38.6)	2.07 ± 0.6 (1.2 – 3.1)
-5	5.15 ± 1.1 (3.9 – 6.9)	17.41 ± 2.4 (14.8 – 22.4)	33.87 ± 9.5 (22.8 – 49.3)	2.56 ± 0.9 (15.7 – 35.5)	25.46 ± 7.5 (15.7 – 35.5)	2.13 ± 0.6 (1.3 – 3.0)
-4	5.19 ± 1.1 (3.8 – 6.8)	16.83 ± 2.5 (13.8 – 21.0)	32.96 ± 9.3 (22.0 – 45.7)	2.11 ± 0.8 (15.7 – 32.8)	24.33 ± 6.8 (15.7 – 32.8)	1.97 ± 0.8 (1.1 – 3.3)
-3	5.14 ± 1.1 (4.1 – 6.8)	17.08 ± 2.3 (13.3 – 21.2)	37.95 ± 9.3 (24.9 – 49.0)	3.24 ± 2.3 (19.0 – 37.0)	27.58 ± 6.3 (19.0 – 37.0)	2.26 ± 0.7 (1.3 – 3.4)
-2	5.28 ± 1.1 (4.0 – 7.5)	17.62 ± 3.3 (13.6 – 22.9)	35.61 ± 10.8 (23.1 – 54.2)	2.74 ± 0.8 (16.5 – 42.6)	27.08 ± 9.1 (16.5 – 42.6)	2.35 ± 0.8 (1.2 – 3.3)
-1	5.19 ± 0.9 (4.2 – 6.9)	16.98 ± 2.2 (13.6 – 21.1)	35.92 ± 9.0 (27.1 – 49.8)	2.75 ± 1.0 (18.5 – 39.2)	26.94 ± 7.6 (18.5 – 39.2)	2.19 ± 0.8 (1.3 – 3.6)
0	5.05 ± 1.0 (3.8 – 6.8)	17.08 ± 2.3 (13.7 – 21.4)	42.85 ± 8.4 (28.2 – 53.4)	4.12 ± 2.6 (20.2 – 44.5)	32.78 ± 7.7 (20.2 – 44.5)	2.69 ± 0.9 (1.5 – 4.0)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

Fortsetzung von Tab. 2

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
1	5.41 ± 1.3 (4.1 – 7.6)	17.82 ± 2.2 (15.6 – 22.5)	55.37 ± 6.0 (45.9 – 62.5)	3.85 ± 1.0 (32.2 – 49.9)	42.16 ± 5.9 (32.2 – 49.9)	3.72 ± 1.1 (2.0 – 5.2)
2	5.60 ± 1.1 (4.3 – 7.3)	18.17 ± 2.8 (14.5 – 23.9)	51.70 ± 6.1 (44.5 – 64.1)	4.23 ± 2.2 (33.6 – 52.2)	38.87 ± 6.4 (33.6 – 52.2)	3.71 ± 1.4 (2.3 – 5.7)
3	5.48 ± 1.2 (4.3 – 7.2)	18.28 ± 2.5 (14.4 – 23.1)	50.79 ± 4.7 (43.1 – 56.0)	3.52 ± 1.0 (26.8 – 45.8)	38.72 ± 6.6 (26.8 – 45.8)	3.53 ± 0.8 (2.2 – 4.6)
4	5.13 ± 1.0 (4.1 – 7.0)	18.31 ± 2.6 (15.3 – 24.3)	50.06 ± 6.6 (40.2 – 62.2)	3.22 ± 0.7 (26.2 – 49.6)	37.87 ± 7.2 (26.2 – 49.6)	3.68 ± 1.2 (2.0 – 5.6)
5	5.20 ± 1.2 (4.0 – 7.5)	18.61 ± 2.2 (15.8 – 23.4)	49.80 ± 6.2 (40.6 – 61.2)	3.65 ± 0.8 (27.7 – 48.4)	35.49 ± 6.9 (27.7 – 48.4)	3.36 ± 1.0 (2.1 – 5.1)
6	5.34 ± 1.0 (4.2 – 6.9)	18.63 ± 2.7 (15.0 – 24.4)	44.72 ± 6.4 (36.7 – 54.4)	3.40 ± 0.7 (21.7 – 40.1)	33.78 ± 6.4 (21.7 – 40.1)	3.28 ± 0.9 (2.3 – 4.4)
7	5.38 ± 1.4 (3.9 – 8.1)	18.92 ± 2.3 (16.6 – 24.2)	46.54 ± 6.5 (38.7 – 57.6)	3.13 ± 0.6 (27.7 – 45.4)	35.25 ± 5.8 (27.7 – 45.4)	3.46 ± 0.7 (2.7 – 5.1)
8	5.40 ± 1.1 (4.4 – 7.3)	18.91 ± 2.5 (15.6 – 24.2)	46.81 ± 6.8 (36.1 – 56.0)	3.64 ± 0.7 (23.4 – 42.2)	35.03 ± 6.5 (23.4 – 42.2)	3.53 ± 0.9 (2.4 – 4.8)
9	5.32 ± 1.4 (4.0 – 8.0)	19.08 ± 2.6 (15.8 – 24.5)	48.91 ± 7.2 (41.1 – 61.0)	3.05 ± 0.8 (25.4 – 46.5)	36.03 ± 7.9 (25.4 – 46.5)	3.60 ± 1.1 (2.5 – 5.7)
10	5.38 ± 1.2 (4.2 – 7.6)	19.01 ± 2.8 (14.8 – 24.7)	46.37 ± 7.0 (37.8 – 60.7)	3.08 ± 0.7 (23.1 – 45.6)	33.93 ± 6.6 (23.1 – 45.6)	3.40 ± 1.0 (2.1 – 5.2)
30	4.96 ± 1.3 (3.6 – 7.1)	18.89 ± 2.2 (15.3 – 23.0)	43.91 ± 5.9 (36.5 – 54.1)	3.90 ± 2.8 (25.9 – 39.4)	32.86 ± 5.2 (25.9 – 39.4)	3.11 ± 0.9 (1.6 – 4.8)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

Fortsetzung von Tab. 2

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
60	4.85 ± 1.0 (3.8 – 6.9)	18.79 ± 2.2 (15.5 – 22.6)	40.54 ± 8.1 (30.1 – 50.8)	2.98 ± 0.8 (20.7 – 39.4)	30.32 ± 7.1 (20.7 – 39.4)	2.84 ± 0.8 (2.3 – 4.3)
90	4.78 ± 1.1 (3.6 – 7.0)	18.63 ± 2.4 (15.8 – 23.4)	40.08 ± 13.0 (21.1 – 62.1)	3.06 ± 0.9 (22.8 – 43.5)	30.94 ± 8.2 (22.8 – 43.5)	2.71 ± 0.7 (2.0 – 3.8)
120	4.72 ± 0.8 (4.2 – 6.3)	18.73 ± 3.4 (16.0 – 25.6)	33.68 ± 8.9 (22.3 – 44.5)	2.05 ± 0.8 (15.6 – 34.0)	23.36 ± 6.5 (15.6 – 34.0)	2.17 ± 1.0 (1.3 – 3.8)
150	5.10 ± 0.7 (4.3 – 6.1)	19.56 ± 2.4 (18.0 – 23.7)	34.69 ± 9.9 (23.5 – 50.6)	2.33 ± 1.4 (15.6 – 41.6)	26.71 ± 12.1 (15.6 – 41.6)	2.39 ± 1.0 (1.3 – 3.7)
180	5.53 ± 1.1 (4.6 – 6.8)	19.69 ± 3.2 (17.3 – 25.3)	32.68 ± 7.3 (24.3 – 44.0)	1.93 ± 0.6 (16.4 – 30.2)	21.46 ± 5.5 (16.4 – 30.2)	2.34 ± 0.8 (1.4 – 3.1)
210	5.29 ± 1.1 (4.3 – 6.6)	20.33 ± 3.5 (17.6 – 26.5)	36.15 ± 6.6 (30.7 – 47.3)	2.27 ± 0.9 (20.4 – 38.1)	24.79 ± 7.5 (20.4 – 38.1)	2.56 ± 0.7 (1.9 – 3.4)
240	5.66 ± 0.9 (4.8 – 7.1)	19.74 ± 2.8 (17.9 – 24.7)	36.94 ± 8.3 (27.7 – 50.0)	2.00 ± 1.0 (18.5 – 38.4)	24.91 ± 7.9 (18.5 – 38.4)	2.51 ± 0.9 (1.6 – 3.5)
270	5.03 ± 0.9 (4.3 – 6.3)	19.63 ± 3.2 (16.7 – 25.1)	28.04 ± 5.7 (19.1 – 33.1)	1.80 ± 0.4 (13.2 – 22.3)	18.30 ± 3.5 (13.2 – 22.3)	1.94 ± 0.9 (1.1 – 3.4)
300	5.14 ± 0.9 (4.0 – 6.1)	19.35 ± 3.4 (17.2 – 25.4)	26.82 ± 10.6 (18.9 – 40.8)	1.85 ± 0.8 (10.0 – 31.4)	17.25 ± 8.5 (10.0 – 31.4)	1.62 ± 0.6 (1.0 – 2.5)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

6.1.4. Vena musculophrenica

6.1.4.1. Dopplersonographisches Erscheinungsbild

Die V. musculophrenica (Abb. 16) lag 6.7 bis 19.4 mm (12.0 ± 2.6 mm) tief unter der Hautoberfläche zwischen den Muskelschichten, was ihr Auffinden bei einzelnen Kühen erschwerte. Die Vene lag im Durchschnitt zwischen 6.2 und 6.8 mm tiefer als die V. subcutanea abdominis. Sie konnte sonographisch bei allen Kühen im Längsschnitt dargestellt werden.

Vor der Geburt war bei 5 Kühen kein deutliches Dopplersignal zu erkennen, da es durch die grosse Eindringtiefe abgeschwächt wurde. Ein Messwinkel unter 60 Grad konnte im Gegensatz zu den zwei Messpunkten an der V. subcutanea abdominis bis auf wenige Ausnahmen nicht eingehalten werden.

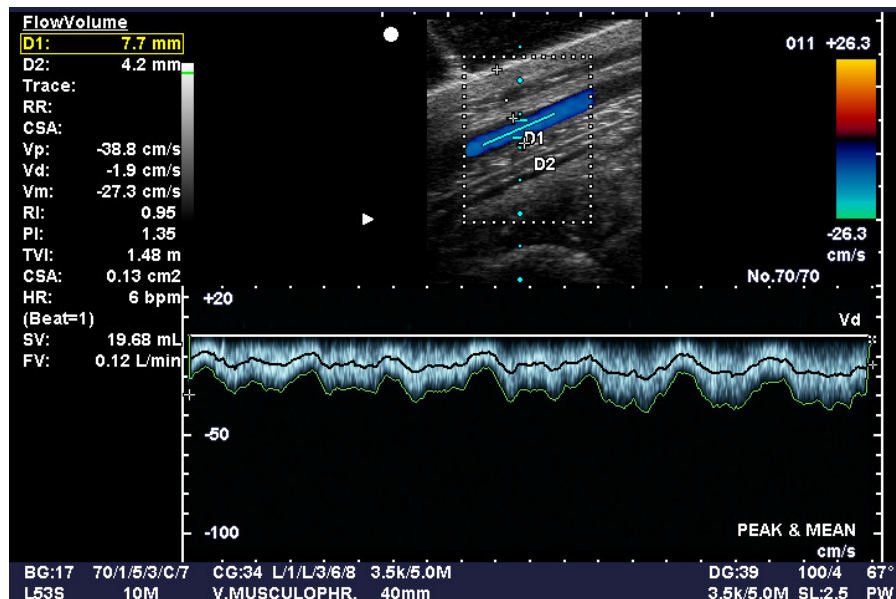


Abb. 16: Dopplersonographisches Bild der V. musculophrenica bei einer Braunviehkuh 6 Tage vor der Kalbung. Oben ist das Gefäß im Längsschnitt mit dem überlagerten Farbfenster und dem Doppler-Cursor mit Samplevolume und Winkelkorrekturanzeige zu sehen. Unten ist die dazugehörige Spektralkurve im gepulsten Dopplermodus dargestellt. Die schwarze Kurve im Spektralbild beschreibt die intensitäts-gewichtete mittlere Flussgeschwindigkeit, die grüne Kurve die maximale gemessene Flussgeschwindigkeit zum jeweiligen Zeitpunkt. Links im Bild sind die vom Ultraschallgerät errechneten Parameter. Die fiktive Herzfrequenz (HR = 6 Schläge/Minute) ergibt sich aus dem vorgegebenen Messintervall von 10 Sekunden. Die Werte RI, PI und SV sind für venöse Flüsse bedeutungslos und wurden nicht ausgewertet.

6.1.4.2. Blutflussparameter

Die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene variierte über den Untersuchungszeitraum zwischen 6.68 und 19.45 mm (12.0 ± 0.2 mm; Abb. 17). Der Venendurchmesser lag zwischen 3.60 und 17.18 mm (8.99 ± 0.2 mm; Abb. 18).

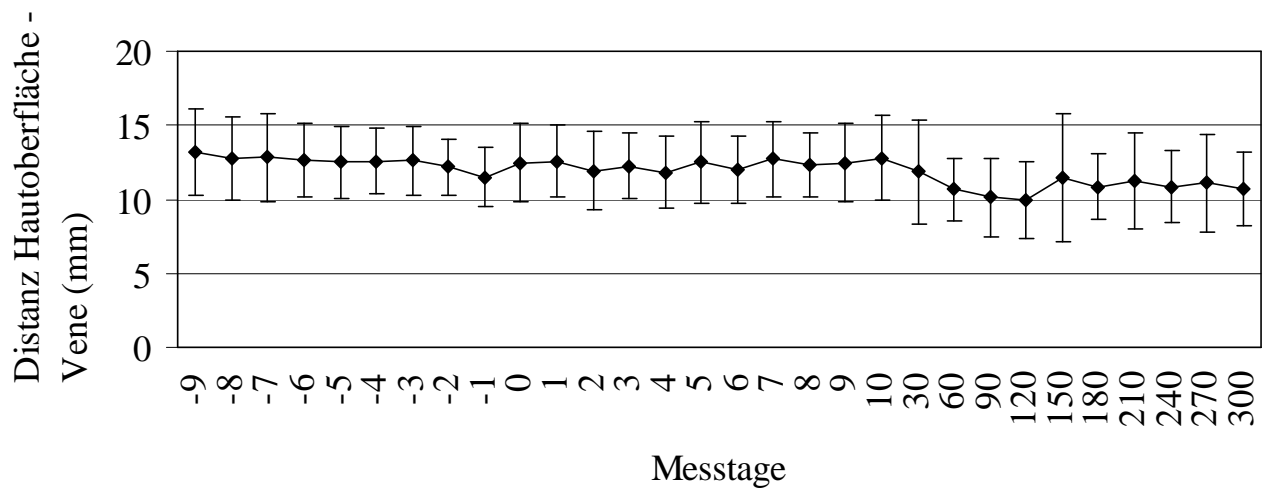


Abb. 17: Verlaufskurve der Distanz der Hautoberfläche zur V. musculophrenica der 8 Kühe vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

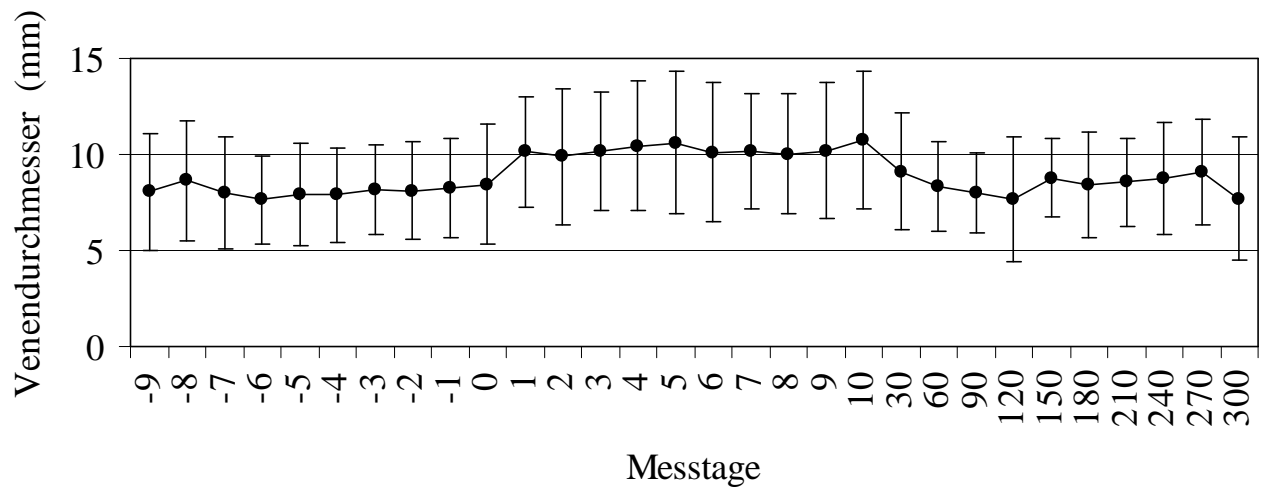


Abb. 18: Verlaufskurve des Venendurchmessers der 8 Kühe an der V. musculophrenica vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Die Verlaufskurven der maximalen (Abb. 19), minimalen (Abb. 20) und durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeit (Abb. 21) zeigten unregelmäs-

sige Schwankungen, aber kein mit den Kurven der Parameter an den Messpunkten der Eutervene vergleichbares Muster.

Die maximale Flussgeschwindigkeit des Blutes schwankte zwischen 24.78 und 209.50 cm/s (99.34 ± 2.0 cm/s), die minimale zwischen 1.28 und 25.35 cm/s (6.23 ± 0.2 cm/s) und die durchschnittliche maximale zwischen 4.68 und 143.25 cm/s (63.20 ± 1.4 cm/s). Das Flussvolumen lag zwischen 0.08 und 5.61 l/min (1.52 ± 0.1 l/min). Die Werte über den Untersuchungszeitraum an den einzelnen Messstagen sind in der Tab. 3 aufgeführt.

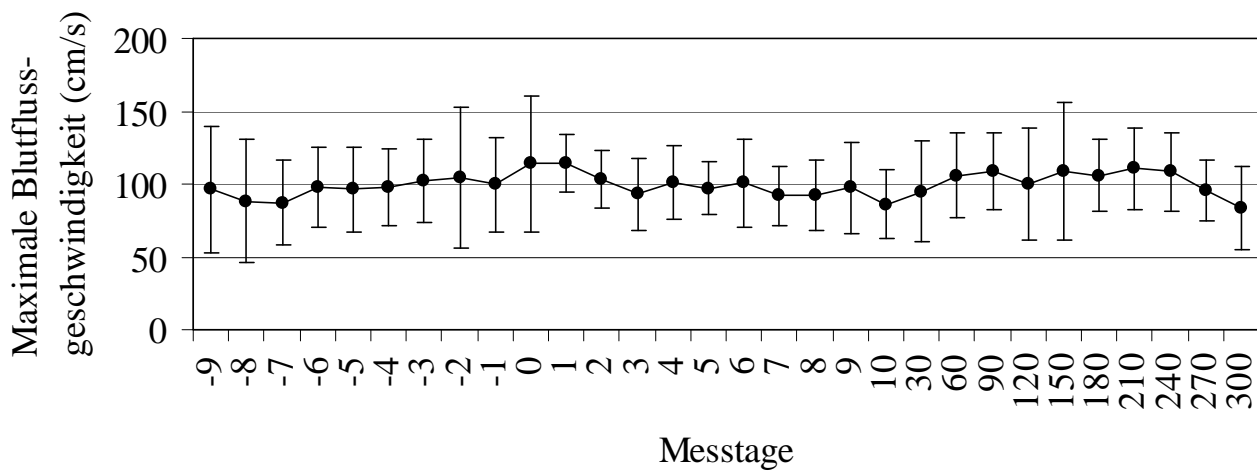


Abb. 19: Verlaufskurve der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe an der V. musculophrenica vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

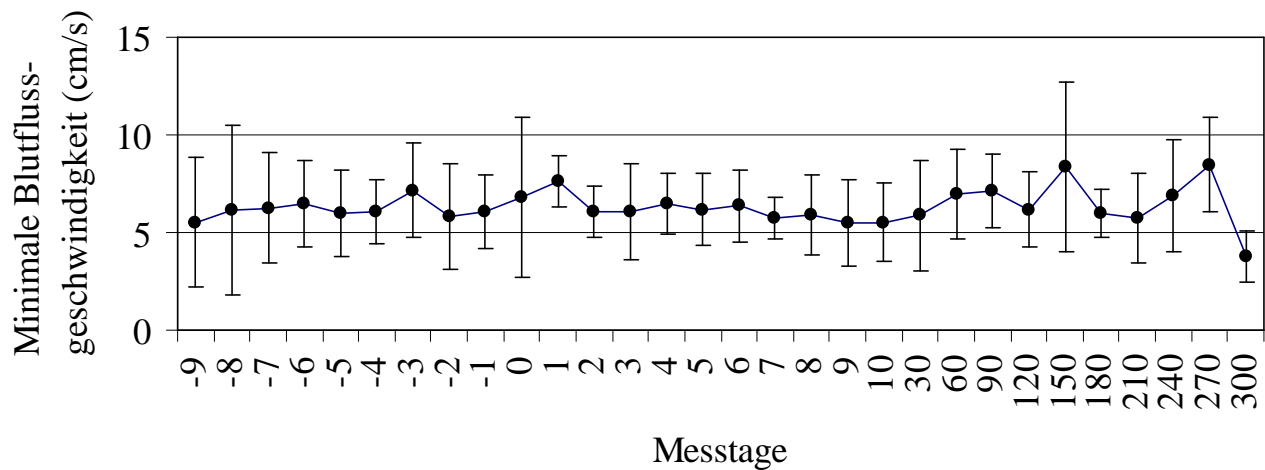


Abb. 20: Verlaufskurve der minimalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe an der V. musculophrenica vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

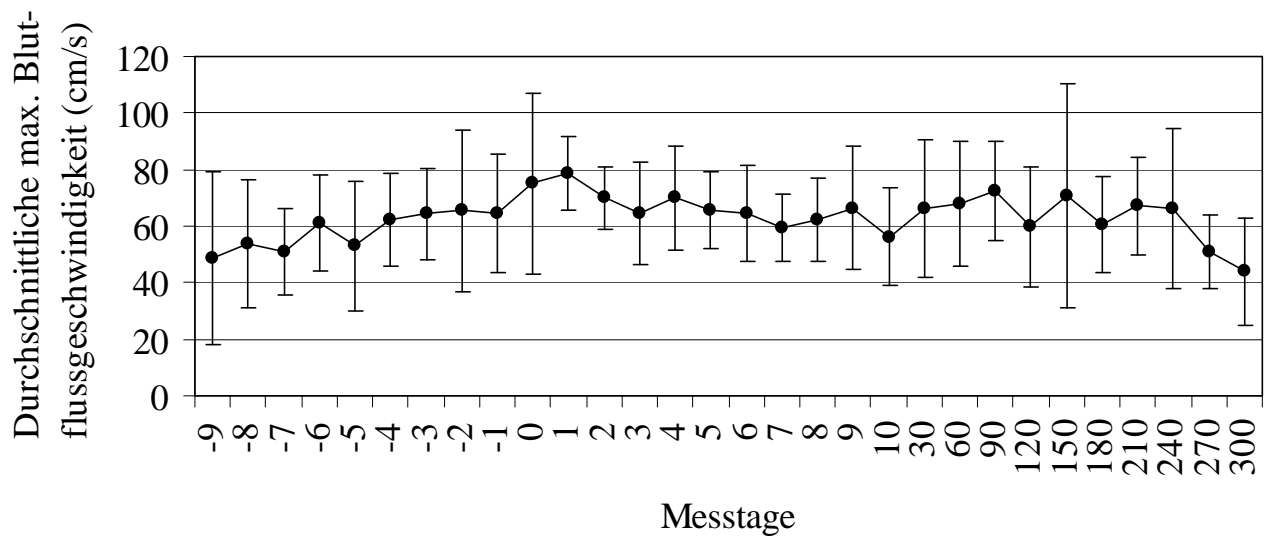


Abb. 21: Verlaufskurve der durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeit der 8 Kühe an der V. musculophrenica vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Die Kurve über die Messperiode für das Flussvolumen (Abb. 22) verhielt sich ähnlich wie diejenige der Eutervene. Das Flussvolumen lag zu Beginn der Mes-

sungen am Tag 9 vor der Kalbung bei 1.20 ± 0.9 l/min und erreichte nach kleinen Schwankungen und einem steilen Anstieg am Tag 1 vor der Kalbung den Maximalwert von 1.42 ± 1.0 l/min am Tag 1 nach der Kalbung. Die Flussvolumenmenge erreichte nach einem flachen Abfall der Kurve am letzten Tag der Messungen (Tag 300) den Minimalwert von 0.58 ± 0.3 l/min.

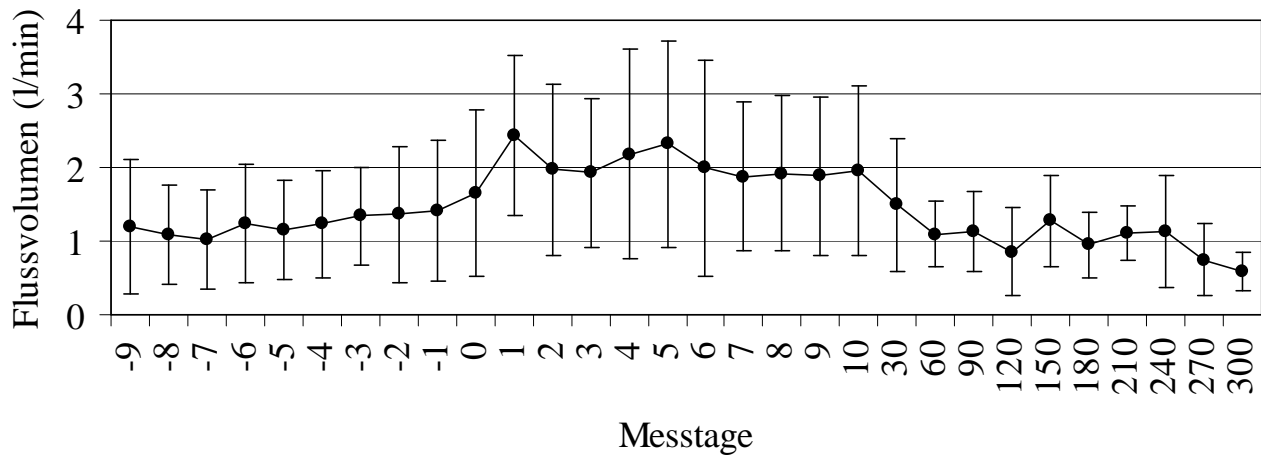


Abb. 22: Verlaufskurve des Flussvolumens der 8 Kühe an der V. musculophrenica vom Messtag -9 (9 Tage a. p.) bis zum Tag 300 p. p. (Mittelwerte \pm Standardabweichungen)

Signifikante Veränderungen im Laktationsverlauf

Im Laktationsverlauf zeigte einzig die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene einen statistisch signifikanten Unterschied ($P < 0.05$).

Tab. 3: Dopplersonographische Parameter an der V. musculophrenica bei 8 Kühen vom Tag -9 ante partum bis zum Tag 300 post partum (Mittelwerte, Standardabweichungen und Schwankungsbreiten)

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
-9	13.19 ± 2.9 (7.6 – 16.0)	8.05 ± 3.0 (4.1 – 12.0)	96.38 ± 43.6 (39.6 – 154.3)	5.52 ± 3.3 (1.3 – 9.4)	48.55 ± 30.4 (4.7 – 91.1)	1.20 ± 0.9 (0.1 – 2.6)
-8	12.78 ± 2.8 (7.9 – 15.7)	8.63 ± 3.1 (3.8 – 12.4)	88.30 ± 42.1 (24.8 – 149.0)	6.15 ± 4.4 (1.9 – 14.5)	54.03 ± 22.6 (26.3 – 84.2)	1.09 ± 0.7 (0.1 – 1.9)
-7	12.83 ± 3.0 (8.1 – 18.1)	8.00 ± 2.9 (3.6 – 12.9)	87.35 ± 29.4 (40.2 – 140.3)	6.24 ± 2.8 (2.7 – 10.0)	51.06 ± 15.4 (27.6 – 78.7)	1.02 ± 0.7 (0.1 – 2.2)
-6	12.66 ± 2.5 (7.9 – 15.8)	7.63 ± 2.3 (4.0 – 10.7)	97.70 ± 27.3 (52.9 – 134.0)	6.48 ± 2.2 (4.1 – 10.3)	61.29 ± 16.9 (35.8 – 79.1)	1.24 ± 0.8 (0.2 – 2.5)
-5	12.49 ± 2.5 (7.9 – 15.2)	7.95 ± 2.7 (4.7 – 12.5)	96.45 ± 29.1 (49.1 – 137.5)	5.96 ± 2.2 (3.6 – 10.8)	52.98 ± 22.9 (10.0 – 76.6)	1.15 ± 0.7 (0.2 – 1.9)
-4	12.58 ± 2.2 (8.5 – 15.6)	7.90 ± 2.5 (4.4 – 11.5)	98.10 ± 26.3 (49.0 – 142.5)	6.05 ± 1.6 (3.1 – 7.8)	62.27 ± 16.4 (33.2 – 92.1)	1.23 ± 0.7 (0.2 – 2.3)
-3	12.63 ± 2.3 (7.8 – 14.9)	8.18 ± 2.3 (4.5 – 11.5)	102.50 ± 28.7 (44.6 – 139.8)	7.14 ± 2.4 (4.5 – 12.4)	64.40 ± 16.2 (31.6 – 86.4)	1.34 ± 0.7 (0.4 – 2.2)
-2	12.20 ± 1.9 (8.8 – 14.5)	8.10 ± 2.5 (4.5 – 11.6)	104.11 ± 48.4 (42.5 – 201.5)	5.81 ± 2.7 (3.3 – 11.3)	65.53 ± 28.5 (32.1 – 124.8)	1.36 ± 0.9 (0.2 – 2.9)
-1	11.51 ± 2.0 (8.0 – 13.8)	8.27 ± 2.6 (4.9 – 12.4)	99.51 ± 32.1 (67.3 – 161.3)	6.06 ± 1.9 (3.1 – 8.9)	64.37 ± 20.9 (44.7 – 101.2)	1.42 ± 1.0 (0.3 – 3.2)
0	12.43 ± 2.6 (7.6 – 16.1)	8.43 ± 3.1 (4.7 – 14.3)	114.04 ± 46.7 (73.5 – 209.5)	6.83 ± 4.1 (4.3 – 16.7)	75.05 ± 32.0 (45.7 – 143.3)	1.66 ± 1.1 (0.3 – 3.3)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

Fortsetzung von Tab. 3

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
1	12.55 ± 2.4 (8.2 – 15.1)	10.14 ± 2.9 (7.0 – 15.2)	114.41 ± 19.5 (81.6 – 139.0)	7.60 ± 1.3 (5.5 – 9.4)	78.74 ± 13.1 (56.3 – 94.6)	2.44 ± 1.1 (0.9 – 3.9)
2	11.93 ± 2.7 (7.1 – 15.9)	9.91 ± 3.5 (5.2 – 16.3)	103.29 ± 19.6 (67.3 – 136.8)	6.06 ± 1.3 (3.6 – 7.8)	69.99 ± 11.2 (49.1 – 85.5)	1.97 ± 1.2 (0.4 – 4.0)
3	12.25 ± 2.2 (9.0 – 15.4)	10.17 ± 3.1 (6.6 – 14.9)	92.97 ± 24.4 (64.3 – 123.8)	6.09 ± 2.5 (3.6 – 11.5)	64.48 ± 18.1 (43.6 – 86.3)	1.93 ± 1.0 (0.5 – 3.7)
4	11.82 ± 2.5 (7.5 – 14.8)	10.44 ± 3.4 (6.4 – 16.7)	100.92 ± 25.6 (76.3 – 151.5)	6.49 ± 1.5 (4.8 – 9.0)	69.94 ± 18.3 (51.5 – 104.0)	2.18 ± 1.4 (0.5 – 4.3)
5	12.50 ± 2.7 (8.4 – 17.0)	10.61 ± 3.7 (7.2 – 17.2)	97.15 ± 18.0 (71.8 – 122.5)	6.16 ± 1.9 (3.8 – 8.9)	65.70 ± 13.8 (50.4 – 88.0)	2.32 ± 1.4 (0.7 – 4.2)
6	11.99 ± 2.3 (7.4 – 15.0)	10.10 ± 3.6 (6.5 – 16.2)	100.58 ± 30.7 (66.8 – 154.8)	6.38 ± 1.8 (4.2 – 9.7)	64.44 ± 17.0 (44.7 – 92.4)	1.99 ± 1.5 (0.5 – 4.7)
7	12.72 ± 2.6 (9.6 – 17.5)	10.19 ± 3.0 (7.3 – 15.4)	91.76 ± 20.8 (61.0 – 117.3)	5.73 ± 1.1 (4.5 – 7.1)	59.26 ± 11.9 (40.7 – 76.0)	1.88 ± 1.0 (0.7 – 3.5)
8	12.30 ± 2.2 (8.4 – 15.4)	10.03 ± 3.2 (6.4 – 15.4)	92.67 ± 24.0 (58.9 – 124.5)	5.90 ± 2.0 (3.6 – 9.8)	62.10 ± 14.7 (43.5 – 79.8)	1.92 ± 1.1 (0.5 – 3.8)
9	12.47 ± 2.6 (8.7 – 17.2)	10.20 ± 3.5 (6.3 – 16.3)	97.55 ± 31.5 (47.5 – 151.0)	5.47 ± 2.2 (2.3 – 8.6)	66.36 ± 21.8 (33.8 – 99.3)	1.89 ± 1.1 (0.6 – 3.9)
10	12.81 ± 2.8 (8.2 – 17.1)	10.76 ± 3.6 (5.6 – 16.3)	86.09 ± 23.4 (62.1 – 125.5)	5.53 ± 2.0 (3.0 – 8.5)	56.32 ± 17.4 (37.6 – 88.6)	1.96 ± 1.2 (0.3 – 3.8)
30	11.88 ± 3.5 (8.5 – 19.5)	9.10 ± 3.1 (5.1 – 13.2)	95.05 ± 34.1 (35.4 – 143.3)	5.87 ± 2.8 (1.9 – 10.4)	66.25 ± 24.3 (27.1 – 105.7)	1.50 ± 0.9 (0.2 – 3.1)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

Fortsetzung von Tab. 3

Messtag	D1 (mm)	D2 (mm)	Vp (cm/s)	Vd (cm/s)	Vm (cm/s)	FV (l/min)
60	10.67 ± 2.1 (8.1 – 14.3)	8.30 ± 2.3 (6.0 – 12.5)	105.67 ± 29.2 (54.2 – 132.5)	6.98 ± 2.3 (3.2 – 9.6)	67.93 ± 22.2 (34.2 – 99.3)	1.09 ± 0.5 (0.3 – 1.7)
90	10.15 ± 2.6 (6.7 – 14.8)	8.00 ± 2.1 (5.1 – 11.8)	108.82 ± 26.5 (65.0 – 148.8)	7.13 ± 1.9 (4.2 – 10.8)	72.53 ± 17.4 (43.4 – 98.1)	1.13 ± 0.5 (0.3 – 2.0)
120	9.94 ± 2.6 (7.7 – 14.5)	7.67 ± 3.2 (4.6 – 13.4)	100.07 ± 38.9 (52.9 – 149.8)	6.15 ± 1.9 (2.9 – 8.5)	59.84 ± 21.2 (35.5 – 86.5)	0.86 ± 0.6 (0.2 – 1.9)
150	11.42 ± 4.3 (7.7 – 18.2)	8.78 ± 2.1 (6.0 – 11.7)	108.67 ± 47.0 (61.9 – 179.0)	8.35 ± 4.4 (3.6 – 12.7)	70.52 ± 39.6 (30.8 – 121.0)	1.28 ± 0.6 (0.4 – 2.1)
180	10.85 ± 2.2 (8.1 – 14.2)	8.40 ± 2.8 (5.9 – 12.5)	105.94 ± 24.7 (75.1 – 137.8)	5.97 ± 1.3 (4.8 – 8.0)	60.65 ± 17.1 (41.8 – 82.7)	0.95 ± 0.4 (0.4 – 1.5)
210	11.23 ± 3.2 (7.8 – 14.9)	8.56 ± 2.3 (5.8 – 11.9)	110.46 ± 28.2 (86.0 – 156.5)	5.74 ± 2.3 (2.8 – 8.2)	67.19 ± 17.2 (54.2 – 91.0)	1.11 ± 0.4 (0.8 – 1.7)
240	10.86 ± 2.4 (8.2 – 14.4)	8.76 ± 3.0 (5.8 – 13.6)	108.71 ± 26.9 (81.8 – 153.0)	6.88 ± 2.9 (3.7 – 10.9)	66.22 ± 28.3 (39.6 – 113.3)	1.14 ± 0.8 (0.4 – 2.4)
270	11.09 ± 3.3 (6.8 – 15.5)	9.05 ± 2.7 (6.0 – 12.1)	96.05 ± 20.8 (70.8 – 119.0)	8.47 ± 9.4 (3.8 – 25.4)	51.00 ± 12.9 (39.9 – 70.1)	0.74 ± 0.5 (0.3 – 1.6)
300	10.75 ± 2.5 (8.0 – 14.2)	7.68 ± 3.2 (4.9 – 12.8)	83.62 ± 28.7 (42.2 – 116.5)	3.76 ± 1.3 (1.7 – 4.8)	44.02 ± 18.9 (21.4 – 71.3)	0.58 ± 0.3 (0.3 – 1.0)

D1 (mm) = Abstand von der Hautoberfläche zur Vene, D2 (mm) = Venendurchmesser, Vp (cm/s) = Maximale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vd (cm/s) = Minimale gemessene Blutflussgeschwindigkeit, Vm (cm/s) = Durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit, FV (l/min) = Flussvolumen

6.1.5. Vergleich der Blutflussparameter an den drei Messpunkten

Die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene betrug für die Eutervene am kaudalen bzw. kranialen Messpunkt durchschnittlich (über die gesamte Studiendauer) 5.82 bzw. 5.23 mm und für die V. musculophrenica 12.00 mm (Tab. 4). Die entsprechenden Gefässdurchmesser lagen bei durchschnittlich 21.64, 18.32 und 8.99 mm. Sowohl die Distanz von der Hautoberfläche zu den Venen als auch die Gefässdurchmesser unterschieden sich zwischen der Eutervene und der V. musculophrenica signifikant voneinander ($P < 0.01$). Die maximalen Blutflussgeschwindigkeiten lag bei 42.45, 40.75 und 99.34 cm/s, die minimalen bei 2.84, 2.96 und 6.23 cm/s und die durchschnittlichen maximalen bei 27.68, 30.03 und 63.20 cm/s (Tab. 4). Die Flussvolumina betrugen 2.88, 2.75 und 1.52 l/min. Die maximalen, minimalen und durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeiten waren in der V. musculophrenica signifikant grösser ($P < 0.01$) als in der V. subcutanea abdominis (beide Messpunkte). In Bezug auf das Flussvolumen waren die Verhältnisse umgekehrt ($P < 0.01$).

Tab. 4: Mittelwerte, Standardabweichungen und Schwankungsbreiten der dopplersonographischen Parameter am kaudalen und kranialen Messpunkt der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica gemittelt über die gesamte Studiendauer (Tag -9 bis Tag 300)

Parameter	V. subcutanea abdominis, kaudal	V. subcutanea abdominis, kranial	V. musculophrenica
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	5.82 ± 0.2 (2.88 – 15.4)	5.23 ± 0.1 (3.55 – 8.13)	12.00 ± 0.2 (6.68 – 19.45)
Venendurchmesser (mm)	21.64 ± 0.3 (14.65 – 33.25)	18.23 ± 0.2 (13.25 – 26.50)	8.99 ± 0.2 (3.60 – 17.18)
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	42.45 ± 1.1 (9.20 – 84.33)	40.75 ± 0.7 (18.48 – 64.13)	99.34 ± 2.0 (24.78 – 209.50)
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	2.84 ± 0.1 (0.30 – 17.78)	2.96 ± 0.1 (0.73 – 10.58)	6.23 ± 0.2 (1.28 – 25.35)
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	27.68 ± 0.8 (12.58 – 69.80)	30.03 ± 0.7 (10.00 – 52.23)	63.20 ± 1.4 (4.48 – 143.25)
Flussvolumen (l/min)	2.88 ± 0.1 (0.90 – 8.20)	2.75 ± 0.1 (0.86 – 5.74)	1.52 ± 0.1 (0.08 – 5.61)

Die Verlaufskurven der einzelnen Parameter an den drei Messpunkten über den Untersuchungszeitraum sind in den Abbildungen 23 bis 28 dargestellt.

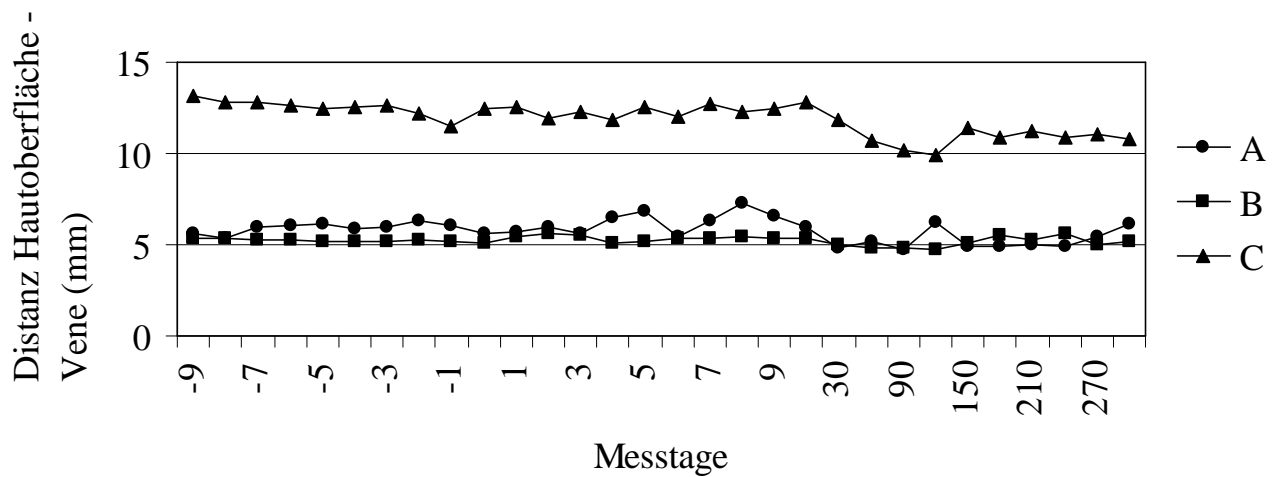


Abb. 23: Verlaufskurve der durchschnittlichen Werte der Distanz von der Hautoberfläche zur Vene über den Laktationsverlauf am kaudalen (A) und kranialen (B) Messpunkt der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica (C)

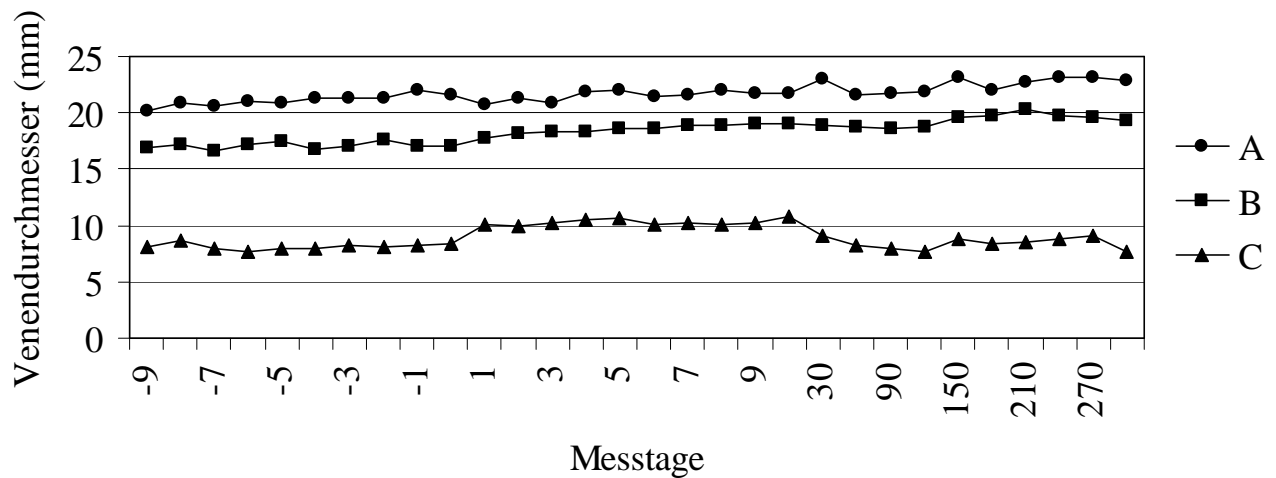


Abb. 24: Verlaufskurve der durchschnittlichen Werte des Venendurchmessers über den Laktationsverlauf am kaudalen (A) und kranialen (B) Messpunkt der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica (C)

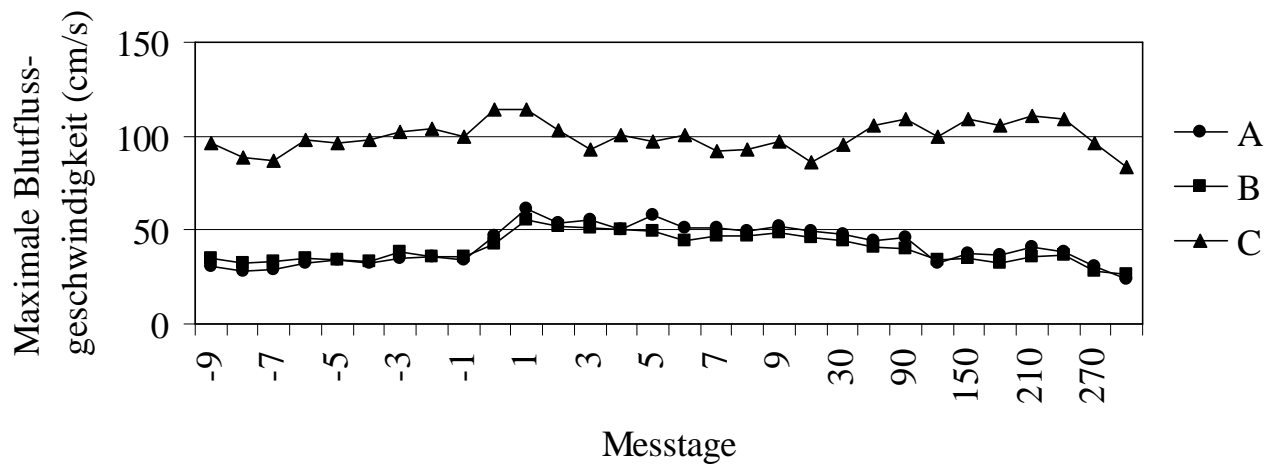


Abb. 25: Verlaufskurve der durchschnittlichen Werte der maximalen Blutflussgeschwindigkeit über den Laktationsverlauf am kaudalen (A) und kranialen (B) Messpunkt der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica (C)

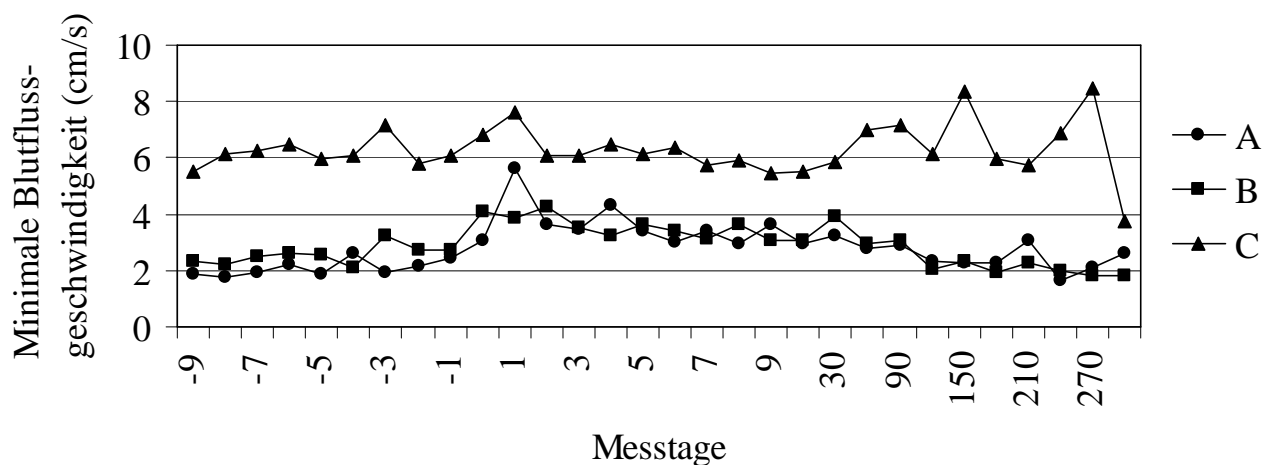


Abb. 26: Verlaufskurve der durchschnittlichen Werte der minimalen Blutflussgeschwindigkeit über den Laktationsverlauf am kaudalen (A) und kranialen (B) Messpunkt der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica (C)

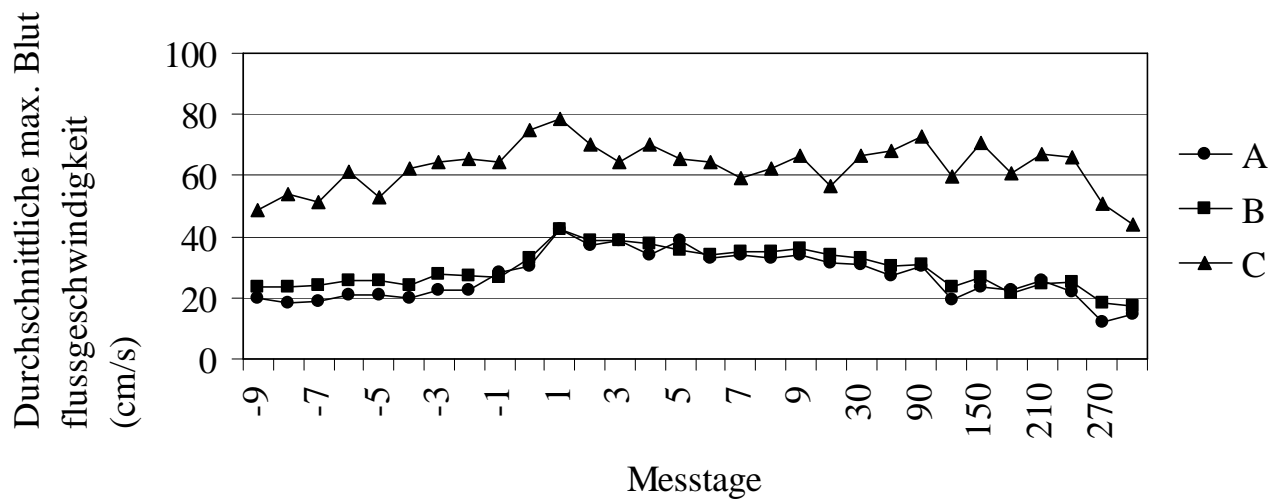


Abb. 27: Verlaufskurve der durchschnittlichen Werte der durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeit über den Laktationsverlauf am kaudalen (A) und kranialen (B) Messpunkt der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica (C)

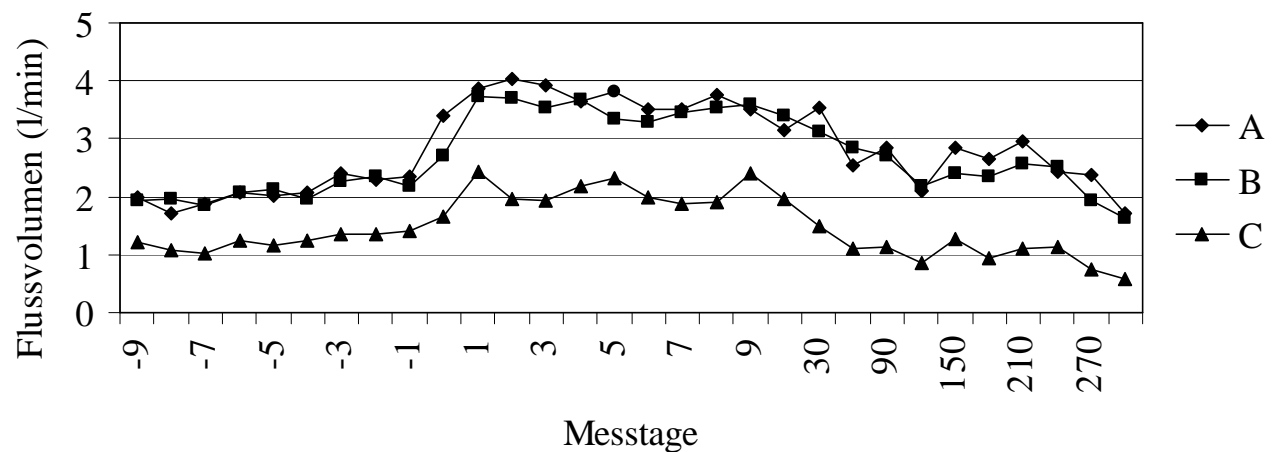


Abb. 28: Verlaufskurve der durchschnittlichen Werte des Flussvolumens über den Laktationsverlauf am kaudalen (A) und kranialen (B) Messpunkt der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica (C)

6.1.6. Beziehungen zwischen den Messparametern und der Milchleistung

Die durchschnittliche Tagesmilchleistung der 8 Kühe lag über die gesamte Messperiode von 310 Tagen bei 14.82 ± 12.4 Litern. An den Tagen vor der Geburt wurden die Kühe nicht gemolken, da sie wie üblich trockengestellt waren. Nach der Geburt stieg die durchschnittliche Milchleistung steil an und erreichte am achten Tag post partum ein Maximum von 29.02 ± 2.5 Litern pro Tag, um bis zum Tag 300 p. p. langsam auf einen Wert von 9.90 ± 6.1 Litern pro Tag abzusinken (Abb. 29). Für keinen der erhobenen dopplersonographischen Parameter bestand eine Korrelation zur Milchleistung. Alle Korrelationskoeffizienten r lagen unter 0.34 bei einem $P > 0.05$.

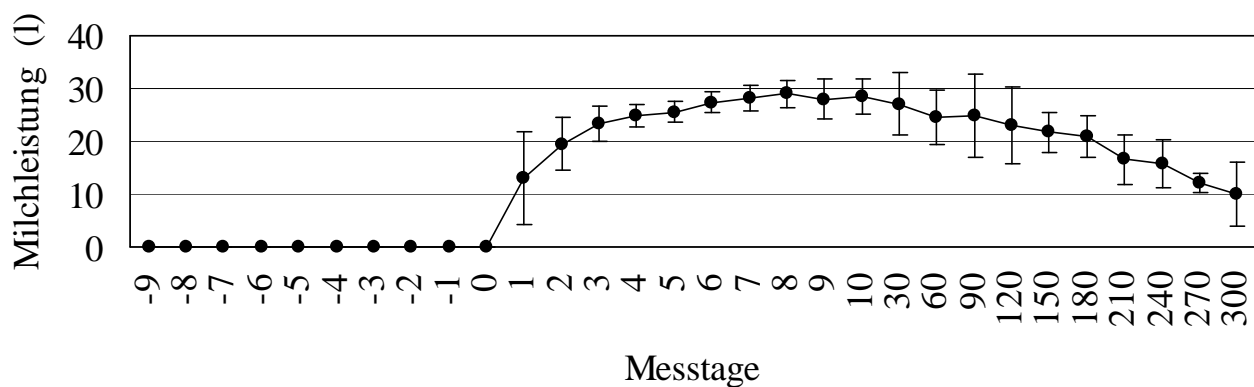


Abb. 29: Verlauf der durchschnittlichen Tagesmilchleistung bei 8 Kühen vom Messtag -9 (neun Tage ante partum) bis zum Tag 300 post partum

Die Verlaufskurven der Milchleistung und der Blutflussparameter unterschieden sich signifikant ($P < 0.05$). So wurden die Maxima der Blutflussparameter jeweils ein bis zwei Tage nach der Kalbung beobachtet. Die maximale Milchleistung wurde erst am Tag 8 nach der Kalbung gemessen.

6.1.7. Beziehungen zwischen den Messparametern und dem Körpergewicht

Der Venendurchmesser korrelierte bei beiden Venen an allen drei Messpunkten als einziger Parameter signifikant mit dem Körpergewicht der Kühe ($P < 0.05$).

Die Korrelationskoeffizienten r betrugen am kaudalen Messpunkt der V. subcutanea abdominis 0.69, am kranialen Messpunkt der V. subcutanea abdominis 0.73 und an der V. musculophrenica 0.68.

6.2. Untersuchungen bei unterschiedlicher Tagesmilchleistung (Gruppe B)

6.2.1. Blutflussparameter

6.2.1.1. Blutfluss in Abhängigkeit von der Milchleistung an der Vena subcutanea abdominis, kaudaler Messpunkt

Die fünf Galtkühe wiesen eine Distanz von der Hautoberfläche bis zur Vene von 5.36 ± 0.6 mm und einen Venendurchmesser von 19.37 ± 1.7 mm auf. Das Blut floss mit einer maximalen Flussgeschwindigkeit von 14.04 ± 0.9 cm/s, einer minimalen Flussgeschwindigkeit von 0.63 ± 0.1 cm/s und einer durchschnittlichen maximalen Flussgeschwindigkeit von 8.21 ± 0.8 cm/s. Dabei ergab sich ein Flussvolumen von 0.79 ± 0.1 l/min (Tab. 5).

Bei den fünf Kühen mit einer Tagesmilchleistung von 10 Litern betrugen die Distanz von der Hautoberfläche bis zur Vene 4.56 ± 0.5 mm und der Venendurchmesser 18.84 ± 3.4 mm. Das Blut floss mit einer maximalen Flussgeschwindigkeit von 38.77 ± 6.8 cm/s, einer minimalen Flussgeschwindigkeit von 3.02 ± 0.7 cm/s und einer durchschnittlichen maximalen Flussgeschwindigkeit von 26.67 ± 5.3 cm/s. Dabei ergab sich ein Flussvolumen von 1.80 ± 0.3 l/min.

Die fünf Kühe mit einer Tagesmilchleistung von 20 Litern wiesen eine Distanz von der Hautoberfläche bis zur Vene von 4.47 ± 0.2 mm und einen Venendurchmesser von 19.96 ± 2.0 mm auf. Das Blut floss mit einer maximalen Flussgeschwindigkeit von 39.49 ± 3.7 cm/s, einer minimalen Flussgeschwindigkeit von 2.64 ± 0.3 cm/s und einer durchschnittlichen maximalen Flussgeschwindigkeit von 28.22 ± 2.4 cm/s. Dabei ergab sich ein Flussvolumen von 3.09 ± 0.7 l/min.

Bei den laktierenden Kühen beider Gruppen waren die Blutflussgeschwindigkeiten signifikant grösser ($P < 0.05$) als bei den Galkühen. Das Flussvolumen der 20-Liter-Milch-Gruppe war signifikant grösser als dasjenige der Galkühe.

6.2.1.2. Blutfluss in Abhängigkeit von der Milchleistung an der Vena subcutanea abdominis, kranialer Messpunkt

Bei den fünf Galkühen ergaben sich für den Abstand von der Hautoberfläche zur Vene eine Distanz von 5.44 ± 0.4 mm und ein Venendurchmesser von 16.97 ± 0.7 mm (Tab. 6). Die maximale Blutflussgeschwindigkeit betrug 18.30 ± 1.1 cm/s, die minimale Blutflussgeschwindigkeit 0.98 ± 0.1 cm/s und die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit 10.72 ± 0.6 cm/s. Das Flussvolumen des Blutes lag bei 0.86 ± 0.1 l/min.

Bei den fünf Kühen mit einer Tagesmilchleistung von 10 Litern wurden ein Abstand zwischen der Hautoberfläche und der Vene von 4.82 ± 1.3 mm und ein Venendurchmesser von 17.20 ± 1.7 mm ermittelt. Die maximale Blutflussgeschwindigkeit betrug 37.45 ± 4.6 cm/s, die minimale 3.50 ± 0.8 cm/s und die durchschnittliche maximale 28.24 ± 5.1 cm/s. Das Flussvolumen des Blutes lag bei 2.20 ± 0.3 l/min.

Bei den fünf Kühen mit einer Tagesmilchleistung von 20 Litern ergaben sich für den Abstand der Hautoberfläche zur Vene ein Wert von 5.14 ± 0.5 mm und für den Venendurchmesser ein solcher von 16.50 ± 1.4 mm. Die maximale Blutflussgeschwindigkeit betrug 46.74 ± 2.0 cm/s, die minimale 3.50 ± 0.4 cm/s und die durchschnittliche maximale 37.49 ± 2.3 cm/s. Das Flussvolumen des Blutes lag bei 2.95 ± 0.6 l/min.

Bei den laktierenden Kühen beider Gruppen waren die Blutflussgeschwindigkeiten signifikant grösser ($P < 0.05$) als bei den Galkühen. Das Flussvolumen der 20-Liter-Milch-Gruppe war signifikant grösser als dasjenige der Galkühe.

Tab. 5: Blutflussparameter (Mittelwerte \pm Standardabweichungen und Schwankungsbreiten), erhoben am kaudalen Messpunkt der Eutervene bei 5 Galkühen und bei je 5 Kühen mit einer Tagesmilchleistung von 10 Litern bzw. 20 Litern

Parameter	Tagesmilchleistung			Differenzen
	Galt (G)	10 Liter (10L)	20 Liter (20L)	
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	5.36 \pm 0.6 (3.7 – 6.4)	4.56 \pm 0.5 (3.3 – 6.3)	4.47 \pm 0.2 (3.9 – 5.0)	-
Venendurchmesser (mm)	19.37 \pm 1.7 (14.7 – 25.4)	18.84 \pm 3.4 (13.0 – 29.7)	19.96 \pm 2.0 (15.2 – 25.8)	-
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	14.04 \pm 0.9 (12.0 – 16.8)	38.77 \pm 6.8 (15.6 – 56.1)	39.49 \pm 3.7 (28.5 – 50.6)	G:10*; G:20*
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	0.63 \pm 0.1 (0.3 – 0.9)	3.02 \pm 0.7 (1.0 – 5.1)	2.64 \pm 0.3 (2.0 – 3.6)	G:10*; G:20*
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	8.21 \pm 0.8 (6.5 – 10.6)	26.67 \pm 5.3 (8.8 – 40.6)	28.22 \pm 2.4 (21.7 – 33.0)	G:10*; G:20*
Flussvolumen (l/min)	0.79 \pm 0.1 (0.4 – 1.2)	1.80 \pm 0.3 (1.3 – 3.0)	3.09 \pm 0.7 (1.8 – 5.3)	G:20*

*P < 0.05, Bonferroni-Test

Tab. 6: Blutflussparameter (Mittelwerte \pm Standardabweichungen und Schwankungsbreiten), erhoben am kranialen Messpunkt der Eutervene bei 5 Galkühen und bei 5 Kühen mit einer Tagesmilchleistung von 10 Litern bzw. 20 Litern

Parameter	Tagesmilchleistung			Differenzen
	Galt (G)	10 Liter (10L)	20 Liter (20L)	
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	5.44 \pm 0.4 (4.7 – 7)	4.82 \pm 1.3 (2.1 – 9.9)	5.14 \pm 0.5 (4 – 7.1)	-
Venendurchmesser (mm)	16.97 \pm 0.7 (14.5 – 18.1)	17.20 \pm 1.7 (13.3 – 23.6)	16.50 \pm 1.4 (13.0 – 19.8)	-
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	18.30 \pm 1.1 (14.4 – 21.3)	37.45 \pm 4.6 (26.2 – 50.4)	46.74 \pm 2.0 (40.8 – 51.6)	G:10*; G:20*
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	0.98 \pm 0.1 (0.7 – 1.4)	3.50 \pm 0.8 (1.5 – 6.1)	3.50 \pm 0.4 (2.4 – 4.7)	G:10*; G:20*
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	10.72 \pm 0.6 (8.5 – 11.8)	28.24 \pm 5.1 (18.1 – 43.3)	37.49 \pm 2.3 (30.1 – 43.3)	G:10*; G:20*
Flussvolumen (l/min)	0.86 \pm 0.1 (0.4 – 1.1)	2.20 \pm 0.3 (1.2 – 3.1)	2.95 \pm 0.6 (1.9 – 4.8)	G:20*

*P < 0.05, Bonferroni-Test

6.2.1.3. Blutfluss in Abhängigkeit von der Milchleistung an der Vena musculophrenica

Bei den fünf Galkühen betrug die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene 11.80 ± 1.1 mm und der Venendurchmesser 6.97 ± 1.3 mm (Tab. 7). Das Blut floss mit einer maximalen Geschwindigkeit von 61.78 ± 12.8 cm/s, einer minimalen Geschwindigkeit von 1.96 ± 0.4 cm/s und einer durchschnittlichen maximalen Geschwindigkeit von 30.59 ± 5.6 cm/s. Für das Flussvolumen ergab sich ein Wert von 0.52 ± 0.2 l/min.

Bei den fünf Kühen mit einer Tagesmilchleistung von 10 Litern ergab sich für die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene ein Wert von 9.78 ± 1.5 mm und für den Venendurchmesser ein solcher von 6.35 ± 0.9 mm. Das Blut floss mit einer maximalen Geschwindigkeit von 118.08 ± 19.9 cm/s, einer minimalen Geschwindigkeit von 8.80 ± 2.8 cm/s und einer durchschnittlichen maximalen Geschwindigkeit von 81.90 ± 16.3 cm/s durch die Vene. Für das Flussvolumen ergab sich ein Wert 0.70 ± 0.1 von l/min.

Für die fünf Kühe mit einer Tagesmilchleistung von 20 Litern betrug die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene 11.23 ± 1.0 mm und die Vene wies einen Durchmesser von 8.78 ± 1.5 mm auf. Das Blut floss mit einer maximalen Geschwindigkeit von 119.13 ± 16.0 cm/s, einer minimalen Geschwindigkeit von 7.87 ± 1.4 cm/s und einer durchschnittlichen maximalen Geschwindigkeit von 85.15 ± 12.3 cm/s. Für das Flussvolumen ergab sich ein Wert von 1.57 ± 0.4 l/min.

Bei den laktierenden Kühen waren die Blutflussgeschwindigkeiten signifikant grösser ($P < 0.05$) als bei den Galkühen.

Tab. 7: Blutflussparameter (Mittelwerte \pm Standardabweichungen und Schwankungsbreiten), erhoben an der V. musculophrenica bei 5 Galkühen und bei je 5 Kühen mit einer Tagesmilchleistung von 10 Litern bzw. 20 Litern

Parameter	Tagesmilchleistung			Differenzen
	Galt (G)	10 Liter (10L)	20 Liter (20L)	
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	11.80 \pm 1.1 (8.4 – 14.2)	9.78 \pm 1.5 (4.7 – 13.0)	11.23 \pm 1.0 (8.5 – 13.5)	-
Venendurchmesser (mm)	6.97 \pm 1.3 (2.8 – 11.0)	6.35 \pm 0.9 (3.8 – 8.7)	8.78 \pm 1.5 (5.4 – 13.2)	-
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	61.78 \pm 12.8 (30.0 – 94.9)	118.08 \pm 19.9 (77.6 – 189.5)	119.13 \pm 16.0 (78.8 – 159.8)	-
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	1.96 \pm 0.4 (0.8 – 3.1)	8.80 \pm 2.8 (2.9 – 18.4)	7.87 \pm 1.4 (3.4 – 11.0)	-
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	30.59 \pm 5.6 (15.1 – 43.5)	81.90 \pm 16.3 (45.2 – 136.3)	85.15 \pm 12.3 (59.6 – 116.5)	G:10*; G:20*
Flussvolumen (l/min)	0.52 \pm 0.2 (0.0 – 1.5)	0.70 \pm 0.1 (0.5 – 0.9)	1.57 \pm 0.4 (0.8 – 3.1)	-

*P < 0.05, Bonferroni-Test

6.2.2. Vergleich der Blutflussparameter an den beiden Körperseiten der Gruppe B (Galt, 10 bzw. 20 Liter Tagesmilchleistung)

Die in der V. subcutanea abdominis kranial und kaudal sowie in der V. musculophrenica gemessenen Parameter unterschieden sich links und rechts nicht signifikant (Tab. 8).

Tab. 8: Gegenüberstellung der Blutflussparameter (Mittelwerte \pm Standardabweichungen und Schwankungsbreiten) der linken und rechten Körperseite am kaudalen und kranialen Messpunkt der V. subcutanea abdominis und am Messpunkt der V. musculophrenica bei Kühen der Gruppe B (n=15) und Signifikanzprüfung der Differenzen der Körperseiten (NS = Nicht signifikant, $P < 0.05$)

Messpunkt	Messparameter	Linke Körperseite	Rechte Körperseite	Differenz
V. subcutanea abdominis, kaudal	Distanz Hautoberfläche-Vene (D1)	4.80 \pm 1.0 (3.3 – 6.4)	4.44 \pm 0.9 (3.2 – 5.6)	NS
	Venendurchmesser (D2)	19.39 \pm 5.2 (13.0 – 29.7)	18.63 \pm 4.7 (14.1 – 30.0)	NS
	Max. Blutflussgeschwindigkeit (Vp)	30.77 \pm 15.4 (11.9 – 56.1)	37.21 \pm 15.3 (11.0 – 58.9)	NS
	Min. Blutflussgeschwindigkeit (Vd)	2.10 \pm 1.4 (0.3 – 5.0)	2.15 \pm 1.0 (0.6 – 3.7)	NS
	Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (Vm)	21.03 \pm 11.8 (6.5 – 40.5)	24.59 \pm 11.9 (6.6 – 37.9)	NS
	Flussvolumen (FV)	1.90 \pm 1.3 (6.5 – 40.5)	1.85 \pm 1.0 (0.6 – 4.1)	NS

Fortsetzung Tab. 8:

Messpunkt	Messparameter	Linke Körperseite	Rechte Körperseite	Differenz
V. subcutanea abdominis, kranial	Distanz Hautoberfläche-Vene (D1)	5.14 ± 1.8 (2.1 – 9.9)	4.69 ± 1.0 (3.5 – 7.0)	NS
	Venendurchmesser (D2)	16.89 ± 2.8 (13.0 – 23.6)	15.69 ± 3.4 (11.6 – 23.1)	NS
	Max. Blutflussgeschwindigkeit (Vp)	34.17 ± 13.7 (14.4 – 51.6)	36.38 ± 13.7 (16.6 – 52.8)	NS
	Min. Blutflussgeschwindigkeit (Vd)	2.67 ± 1.7 (0.7 – 6.1)	3.22 ± 2.5 (0.7 – 10.0)	NS
	Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (Vm)	25.49 ± 13.3 (8.5 – 43.3)	27.97 ± 12.4 (9.9 – 45.9)	NS
	Flussvolumen (FV)	2.01 ± 1.2 (0.4 – 4.8)	1.85 ± 0.8 (0.5 – 3.2)	NS
V. musculophrenica	Distanz Hautoberfläche-Vene (D1)	10.94 ± 2.7 (4.7 – 14.2)	11.76 ± 3.1 (7.3 – 18.3)	NS
	Venendurchmesser (D2)	7.37 ± 2.8 (2.8 – 13.2)	7.30 ± 2.9 (4.0 – 14.8)	NS
	Max. Blutflussgeschwindigkeit (Vp)	99.67 ± 44.0 (30.0 – 189.5)	88.91 ± 30.9 (35.6 – 126.8)	NS
	Min. Blutflussgeschwindigkeit (Vd)	6.21 ± 4.9 (0.8 – 18.4)	8.06 ± 7.9 (1.7 – 32.9)	NS
	Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (Vm)	65.89 ± 36.2 (15.1 – 136.3)	58.51 ± 27.2 (18.5 – 94.5)	NS
	Flussvolumen (FV)	0.93 ± 0.8 (0.0 – 3.1)	0.67 ± 0.2 (0.2 – 1.0)	NS

6.3. Untersuchungen bei kranken Kühen/Fallvorstellungen (Gruppe C)

6.3.1. Partuell trockengestelltes Euterviertel vorne rechts infolge Zitzenverletzung

Eine 7-jährige Braunviehkuh (KG 08.748) wurde wegen einer perforierenden Zitzenverletzung am Viertel vorne rechts ins Tierspital Zürich eingeliefert. Das Allgemeinbefinden war ungestört und die rektale Temperatur betrug 38.8 °C. Die Milch des Viertels vorne rechts war wässrig und enthielt Flocken. Der Schalmtest war stark positiv. Die Zitzenverletzung wurde chirurgisch versorgt und das Viertel für 11 Tage partiell trocken gestellt. Alle zwei Tage wurde die Milch mit einem Zitzenkatheter abgelassen, das Viertel wurde gespült und anfänglich antibiotisch abgedeckt, um einen optimalen postoperativen Verlauf zu gewährleisten und die Mastitis zu behandeln. Fünf Tage nach der Operation wurden die Eutervenen und die Vv. musculophrenicae beider Körperhälften dopplersonographisch untersucht. Die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene und die minimale Blutflussgeschwindigkeit waren an allen drei Messpunkten auf der kranken (rechten) Seite kleiner als auf der gesunden (linken) Seite (Tab. 9). Der Venendurchmesser, die maximale und die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit waren rechts grösser als links.

Tab. 9: Vergleich der Blutflussparameter an der linken und rechten Körperseite bei einer Braunviehkuh mit partiell trocken gestelltem Viertel und einer Mastitis auf dem Viertel vorne rechts (links gesunde Seite, rechts kranke Seite)

Parameter	M1		M2		M3	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	3.82	3.70	5.47	5.07	16.30	14.52
Venendurchmesser (mm)	18.30	22.75	17.25	18.25	9.35	9.92
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	50.90	63.77	50.25	56.12	69.82	97.05
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	4.90	4.25	4.55	5.37	3.57	6.70
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	37.20	47.25	40.02	45.00	53.05	67.32
Flussvolumen (l/min)	2.75	5.88	3.44	4.51	1.66	1.47

M1 = V. subcutanea abdominis, kaudaler Messpunkt

M2 = V. subcutanea abdominis, kranialer Messpunkt

M3 = Messpunkt an der V. musculophrenica

6.3.2. Thrombophlebitis der linken Eutervene

Eine 5.5-jährige Fleckviehkuh (KG 07.825) war zu Hause wegen Gebärparese an der linken Eutervene mit einer Kalziuminfusion behandelt worden. Zwölf Tage später wurde sie wegen einer rechtsseitigen Labmagenverlagerung ans Tierspital eingeliefert. Als Zusatzbefund wies die Kuh im Bereich der linken Eutervene eine Thrombophlebitis auf. Bei der Ultraschalluntersuchung wurde in der Vene ein 15 cm langer Thrombus festgestellt, welcher das Lumen vollständig obstruierte. Aufgrund dieser Befunde wurde die Diagnose Thrombophlebitis an der linken Eutervene infolge Kalziuminfusion gestellt. Bei der dopplersonographischen Untersuchung der beiden Eutervenen war die Distanz von der Hautoberfläche zur Vene auf der kranken (linken) Seite an allen drei Messpunkten grösser als auf der gesunden (rechten) Seite (Tab. 10). Das Umgekehrte wurde für den Venendurchmesser an der V. musculophrenica und am kranialen Messpunkt der Eutervene beobachtet. Alle Blutflussparameter waren auf der kranken Seite deutlich kleiner als auf der gesunden.

Tab. 10: Vergleich der Blutflussparameter an der linken und rechten Körperseite bei einer Fleckviehkuh mit einer Thrombophlebitis in der linken Eutervene (links kranke Seite, rechts gesunde Seite)

Parameter	M1		M2		M3	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	8.97	5.10	9.10	4.12	17.62	14.15
Venendurchmesser (mm)	19.37	23.47	23.00	16.65	11.10	9.77
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	15.40	34.07	15.57	62.50	42.85	129.75
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	0.67	1.75	0.45	5.07	2.40	26.85
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	8.65	20.52	7.17	45.32	19.35	93.12
Flussvolumen (l/min)	0.79	2.54	0.77	3.27	0.63	4.35

M1 = V. subcutanea abdominis, kaudaler Messpunkt

M2 = V. subcutanea abdominis, kranialer Messpunkt

M3 = Messpunkt an der V. musculophrenica

6.3.3. Endokarditis

Eine drei Jahre alte Braunviehkuh (KG 10.014) wurde wegen rezidivierenden Fiebers ans Tierspital Zürich überwiesen, nachdem sie ohne Erfolg antibiotisch und mit einem Magnet behandelt worden war. Bei der klinischen Untersuchung wurden als Hauptsymptome eine stark erhöhte Herzfrequenz von 120 Schlägen pro Minute, positive Fremdkörperproben, ein stark verkürzter Glutaltest von zwei Minuten und eine Peritarsitis links festgestellt. Bei der Ultraschalluntersuchung des Herzens wurde an den Trikuspidalklappen eine Endokarditis valvularis thromboticans diagnostiziert.

Bei der dopplersonographischen Untersuchung waren bei den Messungen am kaudalen Messpunkt der Eutervene der rechten Körperseite die maximale Blutflussgeschwindigkeit und das Flussvolumen höher als bei den gesunden Kühen der Gruppe B (Tab. 11). Am kranialen Messpunkt der Eutervene auf der linken Körperseite waren die maximale und die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit sowie das Flussvolumen, auf der rechten Körperseite der Venendurchmesser und das Flussvolumen grösser als bei den gesunden Kühen der Gruppe B. Bei den

Messungen an der V. musculophrenica waren links die Distanz von der Hautoberfläche und beidseits der Venendurchmesser und das Flussvolumen grösser als bei den gesunden Kühen der Gruppe B. Die anschliessende Sektion bestätigte die Diagnose Endokarditis an den Trikuspidalklappen.

Tab. 11: Vergleich der Blutflussparameter an der linken und rechten Körperseite bei einer Kuh mit einer Endokarditis

Parameter	M1		M2		M3	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	4.68	5.03	4.43	4.03	18.83	10.93
Venendurchmesser (mm)	19.80	20.63	16.25	19.18	11.30	10.63
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	42.28	57.00	61.23	47.73	95.35	96.53
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	2.67	4.60	5.10	3.48	7.20	5.43
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	29.55	28.51	45.28	35.98	69.05	68.68
Flussvolumen (l/min)	2.44	3.84	2.86	3.78	2.64	1.97

Fettgedruckte Zahlen: Werte höher als bei den gesunden Kühen der Gruppe B

M1 = V. subcutanea abdominis, kaudaler Messpunkt

M2 = V. subcutanea abdominis, kranialer Messpunkt

M3 = Messpunkt an der V. musculophrenica

6.3.4. Perikarditis

Eine fünfjährige Braunviehkuh (KG 09.477) wurde wegen Fiebers unbekannter Genese und reduzierten Allgemeinbefindens ans Tierspital Zürich zur Abklärung überwiesen. Bei der klinischen Untersuchung wurden als Hauptbefunde eine erhöhte Körpertemperatur von 40.0 °C, eine erhöhte Herzfrequenz von 96 Schlägen pro Minute, leicht gestaute Jugularvenen und ein auf eine Minute verkürzter Glutaltest festgestellt. Bei der Ultraschalluntersuchung wurde eine Perikarditis diagnostiziert.

Bei der dopplersonographischen Untersuchung am kaudalen Messpunkt der Eutervene wurden auf der rechten Körperseite eine grössere Distanz von der Hautoberfläche und eine kleinere durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindig-

keit, auf der linken Körperseite ein grösserer Venendurchmesser gemessen (Tab. 12). Am kranialen Messpunkt der Eutervene war der Venendurchmesser links vergrößert. Bei den Messungen an der V. musculophrenica waren die Distanz von der Hautoberfläche, der Venendurchmesser und das Flussvolumen beidseits erhöht, die maximale und die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit auf beiden Körperseiten erniedrigt.

Die Kuh wurde wegen infauster Prognose euthanasiert und seziert. Dabei wurde die sonographische Diagnose einer mittel- bis hochgradigen diffusen, fibrinösen Perikarditis bestätigt.

Tab. 12: Vergleich der Blutflussparameter an der linken und rechten Körperseite bei einer Kuh mit Perikarditis

Parameter	M1		M2		M3	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	5.35	5.80	6.35	5.30	16.05	17.78
Venendurchmesser (mm)	24.98	22.75	19.98	17.65	15.83	14.93
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	20.18	19.85	25.48	25.68	<i>43.73</i>	<i>39.35</i>
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	1.38	2.70	1.50	1.35	1.93	2.43
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	11.98	<i>11.38</i>	15.10	15.78	22.95	<i>23.15</i>
Flussvolumen (l/min)	1.79	1.58	1.78	1.48	2.98	2.82

Fettgedruckte Zahlen: Werte höher als bei den gesunden Kühen der Gruppe B

Kursive Zahlen: Werte tiefer als bei gesunden Kühen der Gruppe B

M1 = V. subcutanea abdominis, kaudaler Messpunkt

M2 = V. subcutanea abdominis, kranialer Messpunkt

M3 = Messpunkt an der V. musculophrenica

6.3.5. Blutflussparameter bei einer Kuh mit einer Tagesmilchleistung von 40 Litern

Eine 5.5-jährige Braunviehkuh (ohne KG-Nummer), 8 Wochen post partum, wurde von einem Braunviehzüchter speziell für die dopplersonographische Untersu-

chung ans Tierspital Zürich gebracht. Sie war bei sehr gutem Allgemeinbefinden und bei der klinischen Untersuchung in jeder Hinsicht unauffällig. Die Kuh hatte in den letzten 24 Stunden vor der dopplersonographischen Untersuchung 40.2 Liter Milch gegeben. Bei der dopplersonographischen Untersuchung wurden am kaudalen Messpunkt der Eutervene auf beiden Körperseiten eine kleinere Distanz von der Hautoberfläche zur Vene und auf der rechten Körperseite ein grösserer Venendurchmesser und ein höheres Flussvolumen als bei den gesunden Kühen der Gruppe B gemessen (Tab. 13). Am kranialen Messpunkt der Eutervene war das Flussvolumen gegenüber den gesunden Kühen beidseits erhöht. Die Messungen an der V. musculophrenica ergaben links eine grössere Distanz von der Hautoberfläche zur Vene und beidseits einen grösseren Venendurchmesser und ein höheres Flussvolumen.

Tab. 13: Vergleich der Blutflussparameter an der linken und rechten Körperseite bei einer Kuh mit 40 Litern Tagesmilchleistung

Parameter	M1		M2		M3	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Distanz Hautoberfläche-Vene (mm)	2.78	3.20	4.05	4.40	13.93	12.28
Venendurchmesser (mm)	24.05	29.03	19.62	17.20	10.70	12.23
Max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	32.48	52.00	41.93	45.83	77.55	87.50
Min. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	2.48	3.45	2.88	3.23	6.58	5.93
Ø max. Blutflussgeschwindigkeit (cm/s)	21.90	31.53	34.67	35.55	57.78	63.28
Flussvolumen (l/min)	2.59	4.98	3.73	3.03	1.74	2.47

Fettgedruckte Zahlen: Werte höher als bei den gesunden Kühen der Gruppe B

Kursive Zahlen: Werte tiefer als bei den gesunden Kühen der Gruppe B

M1 = V. subcutanea abdominis, kaudaler Messpunkt

M2 = V. subcutanea abdominis, kranialer Messpunkt

M3 = Messpunkt an der V. musculophrenica

7. DISKUSSION

7.1. Methodenbewertung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Blutflussparameter an der V. subcutanea abdominis und der V. musculophrenica bei Kühen gemessen. Die Untersuchungen erfolgten bei der ersten Gruppe über den Laktationsverlauf und bei der zweiten in Abhängigkeit von der Tagesmilchleistung. Um dopplersonographische Messwerte miteinander zu vergleichen, wies DEPKEN (1999) auf die Beeinflussung der Werte durch untersucher- und patientenabhängige sowie gerätespezifische und messmethodische Faktoren hin. Deshalb wurden in dieser Studie die Messungen stets von derselben Untersucherin, mit dem gleichen Ultraschallgerät und unter möglichst identischen Messbedingungen durchgeführt.

7.1.1. Schallkopf

In der vorliegenden Arbeit wurde ein 7.5-MHz-Linearschallkopf verwendet. Das Gefäß sollte im Bereich des Messpunkts wenigstens auf einer Strecke, welche nach beiden Seiten dem zweifachen Durchmesser des Gefäßes entsprach, bandförmig dargestellt werden (WIDDER und GÖRTLER, 2004). Der Vorteil des Linearschallkopfs lag darin, dass er auf seiner gesamten Länge von 4 cm an das Gefäß angelegt werden konnte und dass sich die Gefäße auf einer genügend langen Distanz bandförmig darstellen liessen.

7.1.2. Untersuchungsbedingungen

Bei der Dopplersonographie existieren viele Fehlerquellen: So führen eine nicht optimale Auswahl des Messfelds im B-Bild (Gefäßlumen im optimalen B-Bild echoleer), Fehler in der Einstellung des Beschallungswinkels und Messfehler bei der Bestimmung der Gefäßdurchmesser zu Abweichungen der gemessenen zu den effektiven Blutflussparametern (HÖGGER, 2006). Da die Messgenauigkeit bei

Mehrfachmessungen grösser wird (RANKE et al., 1990), wurden in dieser Arbeit an jedem Messpunkt vier Messungen mit anschliessender Berechnung des Mittelwerts durchgeführt. Zudem wurde die Spektralkurve über 10 Sekunden, was dem zeitlichen Messmaximum der Spektralkurve im verwendeten Ultraschallgerät entsprach, dargestellt, um allfällige Schwankungen im Blutfluss möglichst wenig zu gewichten.

In den statistischen Auswertungen und Kurvendarstellungen war eine teilweise deutliche Streuung der Werte zu verzeichnen. Eine solche Streuung der dopplersonographisch erhobenen Werte konnten auch RANKE et al. (1990) beobachten. Sie begründeten diese damit, dass die Hand der untersuchenden Person und die Position des nicht sedierten Tieres unmöglich dauerhaft in gleicher Lage zueinander sein können. Es ist essentiell, dass das zu untersuchende Tier ruhig steht und dass sich das Abdomen wegen starker und schneller Atmung nicht bewegt. Dabei reagiert die dopplersonographische Messmethode besonders sensitiv auf Bewegungen des Tieres (CHRISTENSEN et al., 1989). Um dem entgegen zu wirken, wurden die Kühe in einem Stand und immer unter gleichen Raumbedingungen möglichst ohne ablenkende Faktoren wie Lärm und Bewegungen durch andere Personen untersucht. Auffällig war, dass sich die Kühe der Gruppe A in den ersten 20 Tagen der Untersuchung allmählich an die Untersuchungen gewöhnten. Anfänglich noch nervös im Raum stehend, kauten sie gegen Ende der Untersuchungsperiode wieder. Für die Untersuchungen wurden zudem möglichst ruhige Tiere verwendet. Atembedingte Schwankungen, wie inspiratorische Erhöhung bzw. expiratorischer Abfall der Fliessgeschwindigkeiten, wurden im Dopplerspektrum selten beobachtet.

7.1.3. Beschallungswinkel

Bei der Anwendung des Doppler-Prinzips sollte der Winkel zwischen der Blutflussrichtung im Gefäss und den einfallenden Ultraschallwellen idealerweise gleich null sein (d.h. die Schallwellen sollten parallel zur Blutflussrichtung einfal-

len), um genaue Geschwindigkeitsmessungen zu erzielen. Bei einer Winkelabweichung wird die Blutflussgeschwindigkeit zu tief gemessen. Dieser Fehler wird umso ausgeprägter, je grösser die Winkelabweichung ist. Mittels elektronisch durchgeführter Winkelkorrektur können kleine Winkelabweichungen korrigiert werden. Durch die Cosinus-Funktion in der Dopplergleichung sollte der Beschallungswinkel allerdings in jedem Fall unter 60 Grad liegen, da es andernfalls durch die rechnerisch durchgeführte Winkelkorrektur zu falsch hohen Flussgeschwindigkeitsergebnissen kommen kann (WIDDER und GÖRTLER, 2004). Der Fehler bei der Geschwindigkeitsberechnung kann ab einem Messwinkel von 70 Grad bei einer Fehlmessung des Einfallwinkels von 2 Grad grösser als 10 % sein. Es sollte deshalb versucht werden, den Doppler-Beschallungswinkel möglichst klein zu halten und mit einem Winkel zwischen dem Dopplerstrahl und der Gefässachse von unter 60 Grad zu messen (KUBALE und STIEGLER, 2002).

Die zwei untersuchten Venen verliefen parallel zur Hautoberfläche und damit im 90-Grad-Winkel zur Sonde. Zur Optimierung des Beschallungswinkels wurde auf die Linearsonde eine Vorlaufstrecke angebracht, welche selbst einen Winkel aufwies. Weiter wurde im Ultraschallgerät eine Kippung des Farbfensters bzw. des Doppler-Cursors vorgenommen. Dadurch konnte immer ein Messwinkel von unter 70 Grad, jedoch nur bei der V. subcutanea abdominis ein Winkel von unter 60 Grad eingehalten werden. Die Änderung des Beschallungswinkels von ± 1 Grad führt zu einem Fehler in der Blutgeschwindigkeitsmessung von ± 1.7 %. Bei einer Änderung des Beschallungswinkels von ± 5 Grad beläuft sich der Fehler in der Blutflussgeschwindigkeitsmessung auf 8.3 bzw. 9.1 % (CHRISTENSEN et al., 1989). Schliesslich wurde noch eine elektronische Winkelkorrektur durchgeführt, um die Blutflussgeschwindigkeit möglichst akkurat zu bestimmen. In der vorliegenden Studie wurde zwar, wie erwähnt, immer ein Winkel von unter 60 Grad bzw. 70 Grad eingehalten. Er variierte jedoch von Kuh zu Kuh und von Messtag zu Messtag bis zu 10 Grad, was sich schliesslich – trotz Winkelkorrektur – negativ

auf die Messgenauigkeit und -zuverlässigkeit der Blutflussgeschwindigkeiten auswirken konnte.

Vorgelagerte Fett- und Muskelschichten, wie sie bei der V. musculophrenica anzutreffen waren, führten, wie auch von HÖGGER et al. (2005) festgestellt, zu einer Abschwächung der Dopplersignale und zu einer stärkeren Streuung der mit dem gepulsten Doppler erhobenen Blutflussparameter als bei Messungen von oberflächlich gelegenen Gefässen (RANKE et al., 1990). Die Winkelkorrektur konnte wegen der Tiefe, in welcher sich die V. musculophrenica befand, nicht immer maximal angewendet werden, weshalb der Messwinkel bei den Messungen an der V. musculophrenica konstant grösser (meist zwischen 60 Grad und 70 Grad) als bei den Messungen der V. subcutanea abdominis war.

7.1.4. Berechnung des Flussvolumens

Laut KUBALE und STIEGLER (2002) sind die Ergebnisse der Flussvolumenmessungen unter idealen Laborbedingungen sehr genau ($r > 0.99$; Regressionsgerade nahe der Identitätslinie). Nach diesen Autoren ist die Flussmessung nur in oberflächlichen Gefässen durchführbar. Dabei müssen verschiedene Bedingungen eingehalten werden. Eine davon, welche sich unmittelbar auf die Berechnung des Flussvolumens auswirkt, ist die Messgenauigkeit des Gefässdurchmessers. Der Gefässdurchmesser erscheint in der Gleichung zur Berechnung des Flussvolumens ($FV = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot V_m/2$) im Quadrat, weshalb sich ein Messfehler ebenfalls im Quadrat auswirkt. Zusätzlich erfordert die Flussvolumenmessung wie oben erwähnt eine korrekte Einstellung des Beschallungswinkels bzw. der Winkelkorrektur für eine akkurate Berechnung der Flussgeschwindigkeit. Die Unterschiede im Beschallungswinkel in dieser Arbeit (≤ 10 Grad) könnten somit – trotz Massnahmen zur Winkelkorrektur – für Schwankungen bei den Werten des Flussvolumens verantwortlich sein. Um alle im untersuchten Gefässabschnitt auftretenden Geschwindigkeiten sicher detektieren zu können, wurde das Messvolumen, ausser bei

zu grossem Venendurchmesser, möglichst immer über den gesamten Gefässquerschnitt gelegt.

7.2. Blutflussparameter im Laktationsverlauf

7.2.1. Beurteilung der absoluten Werte der Blutflussparameter

Die einzige, uns bekannte Studie mit vergleichbaren dopplersonographischen Befunden an den beschriebenen Venen bei Kühen ist die Dissertation von HÖGGER (2006). Rahel Högger führte Messungen an 29 unsedierten, stehenden Braunviehkühen durch. Diese erfolgten mit dem gleichen Ultraschallgerät (Hitachi Ultrasound Scanner EUB 8500), jedoch mit einem anderen Schallkopf. Die tägliche Milchleistung wurde in der Arbeit von HÖGGER (2006) nicht mit einbezogen, und die Messpunkte waren nicht genau identisch, weshalb ein Vergleich der Daten nur bedingt möglich ist. Zudem wurde das Blutflussvolumen bei keinem Gefäss berechnet.

Eutervene

In der vorliegenden Arbeit betrug die Distanz zwischen der Hautoberfläche und der Vene am kaudalen Messpunkt 5.82 ± 0.2 mm, was nahezu identisch wie in der Arbeit von HÖGGER (2005) mit 5.40 ± 1.0 mm war. Der Venendurchmesser betrug am kaudalen Messpunkt 21.64 ± 0.3 mm. Er war damit deutlich grösser als der von HÖGGER (2006) mit 12.8 ± 0.3 mm ermittelte Wert. Die maximale Blutflussgeschwindigkeit war am kaudalen Messpunkt 42.45 ± 1.1 cm/s. HÖGGER (2006) stellte mit 45.40 ± 12.5 cm/s eine fast identische maximale Blutflussgeschwindigkeit fest. Die minimale Blutflussgeschwindigkeit betrug am kaudalen Messpunkt 2.84 ± 0.1 cm/s. Dieser Wert ist knapp 10-mal tiefer als derjenige von HÖGGER (2006) mit 25.79 ± 11.6 cm/s. Als Erklärung könnte das parabolische Fließmuster in Rohren bzw. Gefässen dienen. Dabei fließen Flüssigkeiten am Rand des Rohres bzw. des Gefässes langsamer als in deren Mitte (WIDDER und

GÖRTLER, 2004). Diese Tatsache kann dazu führen, dass bei Messungen mit einem schmalen, die äusseren Fließgeschwindigkeiten nicht mitmessenden Messbereich (Sample Volume), die minimale Blutflussgeschwindigkeit falsch hoch ist. Der Bereich des Sample Volumes wurde in der Arbeit von HÖGGER (2006) nicht angegeben. In der vorliegenden Arbeit wurde wenn möglich über die gesamte Breite des Gefässes gemessen, alle Flussgeschwindigkeitswerte erfassen zu können. Die durchschnittliche maximale Flussgeschwindigkeit lag mit 27.68 ± 0.8 cm/s leicht tiefer als bei HÖGGER (2006) mit 33.45 ± 9.5 cm/s.

V. musculophrenica

An der V. musculophrenica betrug der durchschnittliche Wert für die Distanz zwischen der Hautoberfläche und der Vene 12.00 ± 0.2 mm und unterschied sich stark von demjenigen von HÖGGER (2006) mit 20.50 ± 5.0 mm. Der Unterschied ist eventuell damit zu erklären, dass nicht an der genau gleichen Stelle gemessen wurde. Der Venendurchmesser von 8.99 ± 0.2 mm war in der vorliegenden Arbeit grösser als bei HÖGGER (2006) mit 7.30 ± 2.0 mm. Die maximale Flussgeschwindigkeit von 99.34 ± 0.2 cm/s entspricht dem von HÖGGER (2006) gemessenen Wert von 90.17 ± 38.6 cm/s. Die minimale Flussgeschwindigkeit von 6.23 ± 0.2 cm/s lag deutlich tiefer als in der Arbeit von HÖGGER (2006) mit 41.39 ± 24.2 cm/s. Die Differenz kann vermutlich gleich wie bei der V. subcutanea abdominis mit dem parabolischen Fließmuster in Gefässen und der unterschiedlichen Grösse und Positionierung des Messbereiches (Sample Volumes) in der Vene erklärt werden. Die durchschnittliche maximale Flussgeschwindigkeit von 63.20 ± 1.4 cm/s lag leichtgradig höher als bei HÖGGER (2006), welche eine solche von 60.42 ± 22.3 cm/s ermittelte.

An der Eutervene können die Werte dieser Arbeit mit den von CHRISTENSEN et al. (1989) dopplersonographisch erhobenen Werten bei Ziegen verglichen werden. So lagen die Werte bei den Ziegen tiefer als die in dieser Arbeit gemessenen Werte bei Kühen. Grundsätzlich ist ein absoluter Vergleich der Werte von

CHRISTENSEN et. al. (1989) mit den Werten aus der vorliegenden Arbeit schwierig. Erstens handelte es sich um eine andere Spezies. Zweitens wurde die Studie von CHRISTENSEN et al. (1989) mit einem Dopplerultraschallgerät durchgeführt, welches in keiner Art und Weise dem in der vorliegenden Arbeit verwendeten Gerät entsprach. Es konnten zum Beispiel nicht gleichzeitig ein B-Bild erstellt und eine Flussgeschwindigkeitsmessung vorgenommen werden. Für die Berechnung der Flussgeschwindigkeitsmessung wurde das kontinuierliche Doppler-Prinzip (Continuous-wave) und nicht wie bei neueren Geräten das gepulste Doppler-Prinzip (Pulsed-wave) angewendet. Das Flussvolumen musste später von Hand berechnet werden. Die Zahl der untersuchten Tiere war mit 4 Tieren relativ tief. Trotzdem scheint das Verhältnis zwischen Milchleistung und Blutfluss von Ziegen ungefähr demjenigen von Kühen zu entsprechen. CHRISTENSEN et al. (1989) fanden heraus, dass das Verhältnis zwischen Blutfluss und Milchleistung bei hochlaktierenden Ziegen (250:1 bei einer Tagesmilchleistung von 3 Litern) im Vergleich zu Ziegen mit tieferen Milchleistungen (430:1 bei Tagesmilchleistungen von 1 Liter) sank.

7.2.2. Beurteilung der Blutflussparameter über den Laktationsverlauf

Eutervene, kaudaler Messpunkt

An der Eutervene konnte am kaudalen Messpunkt über den Messzeitraum ein statistisch signifikanter Unterschied in der Verlaufskurve des Flussvolumens beobachtet werden ($P < 0.05$). So stieg die Kurve einen Tag vor der Kalbung stark an, um nach Erreichen des Maximalwerts am zweiten Tag nach der Kalbung bis zum Tag 300 nach der Kalbung langsam auf den Ausgangswert zu fallen. Die Verlaufskurve des Venendurchmessers zeigte einen knapp statistisch signifikanten Unterschied ($P = 0.053$). Sie verhielt sich wie die Verlaufskurve des Flussvolumens, ausser dass der Maximalwert schon einen Tag nach der Kalbung erreicht wurde. Bei den anderen Blutflussparametern konnten im Verlauf der Laktation keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Eutervene, kranialer Messpunkt

Am kranialen Messpunkt der Eutervene ergaben sich für die Verlaufskurve des Venendurchmessers und für diejenige des Flussvolumens signifikante Unterschiede. Auch hier verliefen die beiden Kurven mit analogem Kurvenverlauf wie am kaudalen Messpunkt des Gefässes. Im Unterschied zum kaudalen Messpunkt wurde das Maximum für das Flussvolumen schon einen Tag früher gemessen.

Um die Zusammenhänge zwischen den erhobenen Parametern wie Venendurchmesser, Flussgeschwindigkeiten und Flussvolumina zu verstehen, wird hier auf die Formel zur Berechnung des Flussvolumens verwiesen. Danach berechnet sich das Flussvolumen in einer runden Röhre bzw. in einem runden Gefäss aus der durchschnittlichen Flussgeschwindigkeit und der Fläche durch das Gefäss, worin der Venendurchmesser enthalten ist ($FV = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot Vm/2$).

Die Resultate waren am kranialen Messpunkt der Eutervene zwar statistisch signifikanter als am kaudalen; für beide Messpunkte zeigte sich jedoch das gleiche Bild. Das gesamte Blutflussvolumen durch die Eutervene zeigte eine Erhöhung direkt um die Kalbung, also gleichzeitig mit dem Einsetzen der Laktation. Für eine Änderung des Blutflussvolumens muss sich entweder der Durchmesser oder die Blutflussgeschwindigkeit ändern. In der vorliegenden Arbeit schien der Venendurchmesser das Blutflussvolumen hauptsächlich zu verändern, wenn auch in den Verlaufskurven für die Flussgeschwindigkeiten eine Schwankung um die Geburt sichtbar war. Die Eutervenen einer Kuh werden um die Kalbung dicker, das Blut fliesst jedoch nur tendenziell schneller durch das Gefäss.

V. musculophrenica

An der V. musculophrenica konnte für den Abstand zwischen der Hautoberfläche und der Vene ein statistisch signifikanter Unterschied in der Verlaufskurve berechnet werden. Vom Beginn der Messungen an fiel die Kurve bis zum Tag vor der Kalbung leicht ab und verblieb danach bis zum Tag 10 nach der Kalbung auf einem gleichmässigen Niveau. Nach einem Abfall bis zum Tag 120 nach der Kal-

bung verlief die Kurve auf einem leicht erhöhten Niveau gerade. Die Schwankungen waren im Bereich von 5 mm. Der minimale Wert für den Abstand zwischen der Hautoberfläche und der V. musculophrenica, welche im Gegensatz zur Euter-vene unter mehreren Muskelschichten liegt, wurde am 120. Tag nach der Kalbung ermittelt und damit erklärt, dass die Schwankung mit dem üblichen Gewichtsverlust der Kühe nach der Kalbung einhergeht. So wurde der minimale Wert des Körpergewichts 30 Tage später ebenfalls erreicht. An der V. musculophrenica konnte für keinen weiteren Parameter ein statistisch signifikanter Unterschied in der Verlaufskurve beobachtet werden. Für das Blutflussverhalten in der V. musculophrenica gibt es entsprechend keinen direkten Zusammenhang mit dem Laktationszeitpunkt, was gegeben durch die anatomischen Verhältnisse bereits vermutet werden konnte und hiermit bestätigt wurde.

Vergleich der Verlaufskurven der drei Messpunkte

Die Verlaufskurven der drei Messpunkte über die Laktation der maximalen, minimalen und durchschnittlichen Fliessgeschwindigkeit und des Flussvolumens zeigten einen ähnlichen Verlauf. Die Kurven stiegen ab dem Tag vor der Kalbung, das heisst zwei Messungen ante partum, steil an und erreichten ihre Peaks am ersten oder zweiten Tag nach der Geburt. Nach dem Erreichen des Maximums war ein langsames Abfallen der Werte zu beobachten. Die Verlaufskurve der Milchleistung zeigte ein leicht anderes Muster: Ihr Anstieg nach der Geburt war flach und das Maximum wurde erst am 8. Tag nach der Kalbung erreicht, wobei der Abfall der Kurve kontinuierlich bis zum Tag 300 post partum verlief. Der Peak in der Milchleistungskurve wurde in dieser Studie sehr früh erreicht. Üblicherweise wird der Milchleistungspeak nach 1.5 bis zwei Monaten Laktation erreicht (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005). Dieses leicht unterschiedliche Erscheinungsbild der Verlaufskurven kann die fehlende Korrelation zwischen Milchleistung und Blutfluss erklären.

Die Beobachtung, dass der Blutfluss einen bis zwei Tage vor der Kalbung zunimmt, erhärtet wiederum die Vermutung, dass die mam­märe Durchblutung einer multifaktoriellen Steuerung unterliegt (WENDT et al., 1994). Der schnellere Abfall des Blutflusses im Gegensatz zur Milchleistung ist mit der Adaption des Euters an die Milchproduktion und damit an die höhere Stoffwechselanforderung zu erklären. Das Euter besitzt adaptive Kapazitäten, um eine adäquate Zufuhr von Milchbestandteilen aufrechtzuerhalten (THIVIERGE et al., 2002). Auch bei Ziegen wurde die Adaption des Euters an eine höhere Milchleistung beschrieben (NIELSEN et al., 2002). In der genannten Studie wurden mam­märe Blutflüsse an der Eutervene von Ziegen mittels Dopplersonographie gemessen. Verglichen wurden Ziegen mit tiefer (1.9 Liter) und hoher (3.6 Liter) Tagesmilchleistung. Der mam­märe Blutfluss der Ziegen mit hoher Milchleistung war zwar höher, aber nicht proportional, als derjenige der Ziegen mit geringerer Milchleistung.

Arbeiten, welche den mam­mären Blutfluss ebenfalls über den Zeitraum direkt um die Kalbung beschreiben, existieren nach unserer Information nicht. KJAERGAARD et al. (1968) konnten bei Kühen nach der Kalbung mittels der Antipyrin-Absorptionsmethode eine Erhöhung des Blutflusses beobachten. Die Autoren führten jedoch keine vergleichenden Berechnungen zwischen mam­märem Blutfluss und Milchleistung durch und stellten keine Vermutungen über Gründe für den beobachteten Blutflussanstieg an. In weiteren Studien von NIELSEN et al. (1990) bei Ziegen wurde der mam­märe Blutfluss zwar direkt mit der Milchleistung verglichen. Die Untersuchungen fanden jedoch nicht über den Geburtszeitraum, sondern nur nach der Geburt über den Laktationsverlauf statt.

7.2.3. Beurteilung der Messpunkte an der V. subcutanea abdominis

Wie schon erwähnt, glichen sich die Bilder der Verlaufskurven des kaudalen und kranialen Messpunkts; sie stiegen und fielen zu gleichen Zeitpunkten über den Laktationsverlauf. Die Schwankungen am kranialen Messpunkt, das heisst direkt kaudal des Milchnäpfchens, waren stärker ausgeprägt als diejenigen am kaudalen

Messpunkt vor dem Euter. Es wird deshalb empfohlen, Messungen an der Eutervene möglichst weit kaudal, das heisst direkt vor dem Euter, durchzuführen, wenn für einen direkten Wertevergleich möglichst vom Laktationszeitpunkt unabhängige Daten erhoben werden sollen. Trotz der stärkeren Schlingelung der Vene im kaudalen Bereich findet sich bei jeder Kuh eine für den Schallkopf genug lange gerade verlaufende Strecke.

7.2.4. Vergleichende Beurteilung der Blutflussparameter an der V. subcutanea abdominis und an der V. musculophrenica

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die V. musculophrenica über den Laktationsverlauf schwächere Schwankungen in Bezug auf den Blutfluss zeigt als die Eutervene. Das Gleiche galt auch für die Kühe der Gruppe B mit den unterschiedlichen Milchleistungen. Dies war auch zu erwarten gewesen, da die V. musculophrenica nicht am Abfluss des venösen Bluts aus dem Euter beteiligt ist. Auffällig war jedoch, dass die maximale, minimale und durchschnittliche maximale Flussgeschwindigkeit und das Flussvolumen wie bei der Eutervene eine Schwankung mit Erhöhung um die Kalbung aufwiesen. Zu erklären ist dieser Befund mit einer Zunahme des Herzminutenvolumens und der Stoffwechseltätigkeit bei laktierenden Kühen im Gegensatz zu Galkühen (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005).

7.3. Blutflussparameter in Abhängigkeit von der Milchleistung (Gruppe B)

V. subcutanea abdominis

Die Messungen bei Kühen mit unterschiedlichen Tagesmilchleistungen ergaben am kaudalen und kranialen Messpunkt der Eutervene die gleichen Resultate. Die maximalen, minimalen und durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeiten der Galkühe unterschieden sich statistisch signifikant von denjenigen der laktierenden Kühe. Zudem wiesen laktierende Kühe mit einer Milchleistung von

20 Litern pro Tag ein signifikant höheres Blutflussvolumen als Galtkühe auf. Damit wird eine adäquate Versorgung des Euters für die Laktogenese sichergestellt.

V. musculophrenica

Die durchschnittliche maximale Blutflussgeschwindigkeit der laktierenden Kühe mit 20 Litern Tagesmilchleistung war signifikant grösser als diejenige der Galtkühe. Die übrigen Parameter unterschieden sich zwischen laktierenden und Galtkühen nicht. Eine mögliche Erklärung liegt darin, dass während der Laktation im gesamten Körper eine Veränderung der Blutzirkulation stattfindet (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005). Beschrieben wurde eine Erhöhung des Herzminutenvolumens bei laktierenden Kühen im Gegensatz zu trocken gestellten Kühen um das zwei- bis dreifache (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005). Diese Veränderungen wirken sich aber an der Eutervene deutlicher aus als an der V. musculophrenica, da 20 bis 30 % des Herzminutenvolumens einer laktierenden Kuh auf das Euter entfallen (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005).

7.4. Zusammenhang zwischen Blutfluss und Milchleistung

Zwischen den Blutflussparametern und der Milchleistung ergaben sich keine Korrelationen. Das heisst, dass der Venendurchmesser bei einer Hochleistungskuh nicht unbedingt grösser sein muss als derjenige einer Kuh mit geringerer Tagesmilchleistung. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Milchleistung nicht alleine oder nicht in direkter Art durch den Blutfluss in der Eutervene gesteuert wird. Der Blutfluss ist aber bei einer Kuh mit höherer Milchleistung höher als bei einer solchen mit tieferer Milchleistung, was die Untersuchungen an den Galtkühen und den Kühen mit unterschiedlichen Milchleistungen (10 und 20 Liter) gezeigt haben.

Ob die Milchleistung den venösen Blutfluss durch die Eutervene oder umgekehrt beeinflusst, kann also weder definitiv ausgeschlossen noch abschliessend bestätigt

werden. Eine multifaktorielle Regulation ist naheliegend. Sicher ist, dass die Stoffwechseltätigkeit und der Herzkreislauf, um den immensen Nährstoffbedarf des Euters für die Milchproduktion zu garantieren, bei einer laktierenden Kuh stark gefordert sind.

7.5. Beurteilung der Blutflussparameter der Körperseiten

Der Vergleich der Blutflussparameter auf der linken und rechten Körperseite bei den gesunden Kühen der Gruppe B ergab an keinem Messpunkt signifikante Unterschiede. Es muss davon ausgegangen werden, dass bei einer gesunden, stehenden Kuh gleich viel Blut durch die linke und rechte Eutervene fließt. Das heisst für die vorliegende Arbeit, dass die Untersuchungen der linken Körperseite für beide Körperseiten Gültigkeit haben und es ausreichend ist, eine Körperseite zu untersuchen. Die Ergebnisse widersprechen jedoch denen von CHRISTENSEN et. al. (1989) bei Ziegen, bei denen der Blutdurchfluss durch die Eutervene auf der linken Körperseite konstant tiefer war als auf der rechten Körperseite. Die Autoren erklärten dies damit, dass die linke Euterhälfte der von ihnen untersuchten Ziegen weniger Milch produzierte.

7.6. Beurteilung der Befunde bei den kranken Kühen (Gruppe C)

Es wurde versucht, die Ergebnisse der Kühe mit Erkrankungen der Eutervene oder des Herz-Kreislaufes so zu beschreiben, dass sie vergleichbar mit denen der gesunden Kühe waren. Unterschiede in den Messungen der Körperseiten können als nicht im physiologischen Bereich angegeben werden. Von pathologischen Werten zu sprechen wäre gewagt, da es sich um Einzelfälle handelt und eine grössere Zahl untersuchter Patienten dafür nötig wäre. Im kommenden Abschnitt werden mögliche Gründe für die Unterschiede der einzelnen Parameter zwischen gesunden und kranken Kühen aufgeführt.

7.6.1. Partuell trockengestelltes Euterviertel vorne rechts infolge Zitzenverletzung

Bei der Kuh (KG 08.748) mit einer perforierenden Zitzenverletzung, derer Euterviertel vorne rechts partiell trocken gestellt werden musste und die in Folge der Zitzenverletzung an einer Mastitis erkrankte, wurden am kaudalen Messpunkt der Eutervene für die Parameter durchschnittliche maximale Flussgeschwindigkeit und Flussvolumen ein grösserer Unterschied zwischen den Körperseiten als bei gesunden Kühen beobachtet. Dabei waren die Werte der kranken (rechten) Seite im Gegensatz zur gesunden (linken) Seite erhöht.

Die Erklärung liegt vermutlich darin, dass es bei einer Mastitis infolge der Entzündung zu einer stärkeren Durchblutung des betroffenen Gewebes kommt. Bei Ziegen wurde nach intramammärer Applikation von *E. coli*-Lipopolysacchariden in die A. pudenda externa ein erhöhter Blutfluss beschrieben (BURVENICH et al., 1981). Die Erhöhung der durchschnittlichen maximalen Blutflussgeschwindigkeit und die Erhöhung des Flussvolumens bei der kranken Kuh können deshalb mit der Entzündungsreaktion im erkrankten Viertel begründet werden.

7.6.2. Thrombophlebitis der linken Eutervene

Bei der Kuh mit der Thrombo- und Periphlebitis der linken Eutervene war der Abstand von der Hautoberfläche zur Vene an beiden Messpunkten der Eutervene grösser. Die maximalen Flussgeschwindigkeiten an beiden Messpunkten der Eutervenen und die durchschnittliche maximalen Flussgeschwindigkeit an allen drei Messpunkten sowie das Flussvolumen durch die V. musculophrenica waren vermindert. Der grössere Abstand der Hautoberfläche zur Vene ist auf die Periphlebitis zurückzuführen. Bei einem Thrombus, welcher das ganze Gefässlumen ausfüllt, muss die Flussgeschwindigkeit in der Eutervene stark reduziert sein. Wieso jedoch die durchschnittliche maximale Flussgeschwindigkeit und das Flussvolumen in der V. musculophrenica ebenfalls erniedrigt waren, kann nur vermutet werden. Bei der klinischen Untersuchung hatte die Kuh Anzeichen einer Kreis-

laufzentralisation wie kalte Ohren und nur mässig staubare Jugularvenen gezeigt. Die Kreislaufzentralisation könnte für die Reduktion der durchschnittlichen maximalen Flussgeschwindigkeit und des Blutflussvolumens auf der linken Körperseite an der V. musculophrenica verantwortlich gewesen sein.

7.6.3. Endokarditis

Die Blutflussparameter der an einer Endokarditis erkrankten Kuh ergaben beim Vergleich mit denjenigen der gesunden Kühe ein uneinheitliches Muster. Bei einer Kuh mit Endokarditis und klinischen Symptomen wären durch den Blutflussrückstau in den Körperkreislauf ein grösserer Venendurchmesser aller Venen, reduzierte Blutflussgeschwindigkeiten und in hochgradigen Fällen auch ein reduziertes Flussvolumen in den Gefässen zu erwarten gewesen. Die Resultate unserer Untersuchung stimmen nur teilweise mit den zu erwartenden Veränderungen überein. Die betroffene Kuh zeigte ausser einer stark erhöhten Herzfrequenz, welche auf eine insuffiziente Herzleistung deutete, jedoch keine Symptome von Venenstauung, was der Grund für das unklare Muster sein könnte.

7.6.4. Perikarditis

Bei der an einer Perikarditis erkrankten Kuh waren im Vergleich mit gesunden Kühen der Venendurchmesser an allen drei Messpunkten grösser, die Blutflussgeschwindigkeiten normal bis kleiner und das Flussvolumen an der V. musculophrenica grösser als normal. Die Erklärung liegt darin, dass bei einer Perikarditis massive Stauungserscheinungen auftreten, welche den venösen Blutfluss zurück ins Herz behindern und verlangsamen. Die teilweise grössere Distanz von der Hautoberfläche zur Vene war vermutlich auf die überdurchschnittliche Grösse der Kuh zurückzuführen.

7.6.5. Blutflussparameter bei einer Kuh mit einer Tagesmilchleistung von 40 Litern

Je nach Rasse und Laktationszeitpunkt geben Kühe 10 bis 60 und mehr Liter Milch pro Tag. Züchterisch auf hohe Milchleistung selektionierte Kühe erbringen somit Milchleistungen von mehr als 10'000 kg pro Jahr (SALOMON et al., 2008). Im Euter kommt es durch das Einsetzen der Milchproduktion zu einer Erhöhung des Blutflusses und des Stoffwechsels, welcher durch eine Blutflusserhöhung mittels Vasodilatation und einer Erhöhung des Herzminutenvolumens um den Faktor 2 bis 3 im Vergleich zu nicht laktierenden Kühen gewährleistet wird (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005). Die gesamte Körperblutmenge fliesst täglich ca. 200 bis 250 Mal durch das Euter, wobei bei hohen Milchleistungen 20 bis 30 % des Herzminutenvolumens auf dieses Organ entfallen (GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005).

Eine Tagesmilchleistung von 40 Litern liegt im oberen Drittel der Leistungsfähigkeit einer Kuh. Bei der untersuchten Kuh war das Flussvolumen an allen Messpunkten (ausser dem linken kaudalen Messpunkt der Eutervene) gegenüber den gesunden trockenstehenden und laktierenden Kühen mit einer Tagesmilchleistung bis 20 Liter pro Tag erhöht. Dieser erhöhte Blutfluss wurde hauptsächlich durch die bei diesem Tier grösseren Venendurchmesser gewährleistet, wobei sich die Blutflussgeschwindigkeit gegenüber den Kühen mit einer tieferen Milchleistung nicht veränderte. Dies stimmt mit den Ergebnissen aus den Berechnungen der Kühe mit unterschiedlicher Milchleistung (Gruppe B) überein, wobei sich das Flussvolumen von Galt- und laktierenden Kühen unterschied.

7.7. Ausblick

Die Erhebung von dopplersonographisch gemessenen Blutflussnormalwerten bei Kühen und anderen Tieren setzt voraus, dass die Messungen absolut standardisiert durchgeführt werden. Die Dopplersonographie ist für einen geübten Untersucher mit einem modernen Ultraschallgerät schnell und einfach durchzuführen. Es gibt jedoch viele Fehlerquellen, die es möglichst gering zu halten gilt. Identische Messpunkte, ruhige Tiere und ideale Messvorbereitungen wie eine Vorlaufstrecke zur Einhaltung des für die Dopplersonographie wichtigen Messwinkels stellen wichtige Voraussetzungen dar.

Auch wenn die Milchleistung scheinbar keinen direkten oder alleinigen Einfluss auf den Blutfluss ausübt, sollte den Hinweisen aus den Ergebnissen der Gruppe B in zukünftigen Messungen Beachtung geschenkt werden, d. h. dass eine allfällige Erhebung von Normalwerten für Galkühe und laktierende Kühe getrennt durchgeführt werden sollte.

Die Anwendung von dopplersonographischen Messungen bei kranken Tieren müsste mit einer grösseren Zahl von Patienten geprüft werden. Die Übertragbarkeit scheint zudem schwierig, da der Blutkreislauf bei kranken Kühen häufig zusätzlich verändert ist, und somit weitere Faktoren, welche den Blutfluss beeinflussen könnten, in die Interpretation mit einbezogen werden müssen (GRÜNDER, 2006).

8. LITERATURVERZEICHNIS

BAUMGARTNER, U. M. (1998): Farbdopplersonographische Untersuchung der Arteria uterina und des Corpus luteum beim Rind. Dissertation, Universität München.

BOSTEDT, H. (2006): Fruchtbarkeitsmanagement beim Rind. 5. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 224-225.

BRAUN, U. (2002): Entzündung und Verstopfung der hinteren Hohlvene. In: Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. Hrsg. G. Dirksen, H.-D. Gründer und M. Stöber. Parey Buchverlag, Berlin, 194-197.

BRAUN, U. and J. FÖHN (2005): Duplex sonography of the common carotid artery and external jugular vein of cows. Am. J. Vet. Res. 66, 962-965.

BRAUN, U. and R. HÖGGER (2008): B-mode and colour doppler ultrasonography of the milk vein in 29 healthy Swiss braunvieh cows. Vet. Rec. 163, 47-49.

BRAUN, U., R. HÖGGER and M. HÄSSIG (2009): Colour-doppler sonography of the musculophrenic vein in cows. Vet. J. 179, 451-454.

BUDRAS, K.-D. und A. WÜNSCHE (2002): Atlas der Anatomie des Rindes. Schlütersche GmbH & Co. KG, Verlag und Druckerei, Hannover, 88-90.

BURVENICH, C., G. VANDEPUTTE-VAN MESSOM and G. PEETERS (1981): Experimentally induced fever and mammary blood flow in lactating goats. Arch. Int. Pharmacodyn. Ther. 253, 317-318.

CHRISTENSEN, K., M. O. NIELSEN, R. BAUER and K. HILDEN (1989): Evaluation of mammary blood flow measurements in lactating goats using the ultrasound doppler principle. *Comp. Biochem. Physiol. A.* 92, 385-392.

DEPKEN, U. (1999): Farbkodierte und konventionelle Dopplersonographie von Arterien und Venen verschiedener abdominalen Organe bei adulten Europäischen Hauskatzen. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität, München.

FÖHN, J. (1992): Sonographische und duplexsonographische Untersuchungen an der ventralen Halsregion des Rindes. Dissertation, Universität Zürich.

GROTTKER, S. (1984): Vergleichende Untersuchungen der mit Infusionen in die Eutervene und mit solchen in die Halsvene des Rindes verbundenen Extravasationsgefahr (Bildung von Blutgerinnseln, Arzneimittlrückfluss). *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 91, 102-106.

GRÜNDER, H.-D. (2006): Traumatische Herzbeutelentzündungen und andersbedingte Perikarditiden. In: *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*. Hrsg. G. Dirksen, H.-D. Gründer und M. Stöber. Parey Buchverlag, Berlin, 163-165.

GÜRTLER, H. und F. J. SCHWEIGERT (2005): Physiologie der Laktation. In: *Physiologie der Haustiere*. Hrsg. W. V. Engelhardt und G. Breves, 2. Auflage. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 572-593.

HÖGGER, R. (2006): Farbdoppler Untersuchungen an Arterien und Venen des Rindes. Dissertation, Universität Zürich.

HOUVENAGHEL, A., G. PEETERS and F. VERSCHOOTEN (1972): Influence of oxytocin and milking act on blood flow through the udder of lactating cows. Arch. Int. Pharmacodyn. Ther. 196, 182-183.

KJAERGAARD, P. (1968): Mammary blood flow ante and post partum in cows. Acta Vet. Scand. 9, 180-181.

KJAERGAARD, P. (1974): Mammary blood flow and venous drainage in cows. Acta Vet. Scand. 15, 179-187.

KLEWS, B.-M. (2002): Die Physik und Technik der Ultraschalldiagnoseverfahren. In: Farbkodierte Duplexsonographie - Interdisziplinärer vaskulärer Ultraschall. Hrsg. R. Kubale und H. Stiegler. Thieme Verlag, Stuttgart, 1-70.

KUBALE, R. und H.-P. WESKOTT (2002): Geräteeinstellung, Untersuchungstechnik und Artefakte. In: Farbkodierte Duplexsonographie - Interdisziplinärer vaskulärer Ultraschall. Hrsg. R. Kubale und H. Stiegler. Thieme Verlag, Stuttgart, 108-122.

LINZELL, J. L. (1966): Measurement of venous flow by continuous thermodilution and its application to measurement of mammary blood flow in the goat. Circ. Res. 18, 745-754.

LÖFFLER, K. (2002): Milchdrüsen, Gesäuge, Euter, Mamma. In: Anatomie und Physiologie der Haustiere, 10. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 330-343.

MALTZ, E., D. R. BLATCHFORD and M. PEAKER (1984): Effects of frequent milking on milk secretion and mammary blood flow in the goat. Q. J. Exp. Physiol. 69, 127-132.

NICKEL, R., A. SCHUMMER und E. SEIFERLE (2005): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. 4. Auflage. Band III. Paul Parey Verlag, Stuttgart, 195-198, 476-534.

NIELSEN, M. O., K. JAKOBSEN and J. N. JORGENSEN (1990): Changes in mammary blood flow during the lactation period in goats measured by the ultrasound doppler principle. *Comp. Biochem. Physiol. A.* 97, 519-524.

PENZLIN, H. (2005): Lehrbuch der Tierphysiologie. 7. Auflage. Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag, München, 326-339.

PROSSER, C. G., S. R. DAVIS, V. C. FARR and P. LACASSE (1996): Regulation of blood flow in the mammary microvasculature. *J. Dairy Sci.* 79, 1184-1197.

RADOSTITS, O. M., C. C. GAY, K. W. HINCHCLIFF and P. D. CONSTABLE (2007): *Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs and Goats*. 10. edition. Saunders-Elsevier, Philadelphia, 685-687.

RANKE, C., P. HENDRICKX, F. BRASSEL, U. ROTH, A. CREUTZIG und K. ALEXANDER (1990): Duplexsonographie: Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Fehlermöglichkeiten. *Dtsch. Med. Wochenschr.* 115, 528-533.

RASMUSSEN, F. (1963): The mammary blood flow in the goat as measured by antipyrine absorption method. *Acta Vet. Scand.* 4, 271-280.

RASMUSSEN, F. and J. L. LINZELL (1965): The mammary blood flow in the cow as measured by the antipyrine absorption method. *Acta Vet. Scand.* 6, 135-149.

REYNOLDS, M., J. L. LINZELL and F. RASMUSSEN (1968): Comparison of four methods for measuring mammary blood flow in conscious goats. *Am. J. Physiol.* 214, 1415-1424.

SALOMON, F.-V., H. GEYER und U. GILLE (2008): Milchdrüse. In: *Anatomie für die Tiermedizin*, 2. Auflage. Enke Verlag, Stuttgart, 645-655.

STIEGLER, H. und P.-M. KLEWS (2002): Hämodynamische Grundlagen. In: *Farbkodierte Duplexsonographie - Interdisziplinärer vaskulärer Ultraschall*. Hrsg. R. Kubale und H. Stiegler. Thieme Verlag, Stuttgart, 78-94.

STÖBER, M. (2006): Ketose, Lipomobilisationssyndrom. In: *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*. In: *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*. Hrsg. G. Dirksen, H.-D. Gründer und M. Stöber. Parey Buchverlag, Berlin, 649-664.

THIVIERGE, M. C., D. PETITCLERC, J. F. BERNIER, Y. COUTURE and H. LAPIERRE (2002): Variations in mammary metabolism during the natural filling of the udder with milk over a 12-h period between two milkings. *J. Dairy Sci.* 85, 1839-1854.

THOMPSON, G. E. and E. M. THOMSON (1977): Effects of cold exposure on mammary circulation, oxygen consumption and milk secretion in the goat. *J. Physiol.* 272, 187.

WENDT, K., H. BOSTEDT, H. MIELKE und H.-W. FUCHS (1994): Anatomie der Milchdrüse und Physiologie der Laktation. Hrsg. H. Bostedt. In: *Euter- und Gesäugekrankheiten*, 1. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 17-50, 64-104.

WIDDER, B. und M. GÖRTLER (2004): Doppler- und Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien, 6. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 21-74.

9. DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich allen, die zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben, ganz herzlich danken, insbesondere:

Herrn Prof. Dr. U. Braun für die Überlassung des Themas und die Übernahme des Referats.

Herrn PD Dr. C. Schwarzwald für die Übernahme des Korreferats und die Unterstützung bei der Erarbeitung der Messmethode.

Herrn Prof. Dr. M. Hässig für die Hilfe bei den statistischen Auswertungen der gewaltigen Datenmenge.

Herrn Prof. Dr. U. Bleul für die vielen kleinen und sehr hilfreichen Tipps bei den statistischen Berechnungen.

Frau Dr. N. Aellig und Frau Dr. C. Führer, die mir durch ihre tatkräftige Hilfe und ihre gute Laune die meist am frühen Morgen und auch an den Wochenenden durchgeführten Untersuchungen nicht nur ermöglichten, sondern auch erleichterten.

Dem Personal des Stigenhofs für die Bereitstellung der Kühe: der lieben Ida, der gemütlichen Reseda, der lustigen Meisi und der jugendlichen Regula.

Herrn M. Bachofen, Herrn K. Petrig und Herrn E. Meier für die Bereitstellung der Kühe Simone, Orchidee, Rea und Bella.

Frau P. Raggenbass, Hitachi Medical Systems, für das Erstellen des Ultraschallprogramms und die freundliche Unterstützung beim Einarbeiten bei der Dopplersonographie.

Meinen lieben Arbeitskolleginnen und Arbeitskollegen für ihr Verständnis und ihre freundschaftliche Gesellschaft.

Meinen Bürokollegen med. vet. Manuel Adler und Dr. Mona Irmer für die hilfreichen und ermunternden Ratschläge.

Allen Tierpflegerinnen und Tierpflegern des Departements für Nutztiere für die Betreuung der Kühe, das genaue Notieren der Milchleistung und die Unterstützung.

Meinen geliebten Eltern, meiner einzigartigen und fabelhaften Schwester Lisa, meinen unersetzlichen und grossartigen Freunden Bianca, Corinne, Natalie, Simone, Constanze, Thérèse, Didi und Gigi für die motivierenden Worte und die Begleitung auf meinem Weg zur Doktorwürde.

10. LEBENSLAUF

Eva Regina Forster

24. April 1982 geboren in Winterthur (ZH)

1988 – 1994 Primarschule in Aesch bei Neftenbach (ZH)

1994 – 2001 Kantonsschule in Winterthur (ZH), Maturität Typus B

2001 – 2006 Studium der Veterinärmedizin an der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich mit Staatsexamen

Dez. 2006 – Assistenztierärztin am Departement für Nutztiere, Vetsuisse-
Juni 2009 Fakultät Universität Zürich

Sept. 2009 – Assistenztierärztin, Praxis Wetli, Mettmenstetten (ZH).

Nov. 2010